بسم الله الرحمن الرحيم

سازه های آبی

وحید یزدانی، دکتری مهندسی آب

بناهای آبی

- ۱- کوئیز ۲ نمره
- ۲- میانترم ۵ نمره
- ۴- پایان ترم ۱۲ نمره
- ۵- غیبت نداشتن ۱ نمره
- ۶- نمرات کلاسی

مقدمه

در سراسر جهان، میان محل منبع و ذخیره آب (رودخانه ها، دریاچه ها، دریاچه سدها) تا محل مصرف آن(شهرها و مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی، نیروگاه های آبی) فاصله ای وجود دارد که برای انتقال آب می بایست سازه های آبی در این فاصله مورد نظر احداث گردد.

از مهمترین این سازه ها می توان به لوله، کانال، زیرگذر، فلوم، تبدیل، سیفون، شیب شکن، تندآب، سازه های تنظیم و اندازه گیری جریان اشاره نمود.

بنابراین هدف اصلی درس آشنایی با روش های طراحی سازه های درگیر با این مبحث است.
در مسیر انتقال مناسب و مطمئن آب از منبع تا نقطه مصرف، مباحث دیگری نیز مطرح می شوند.

انواع سازه های آبی
(Hydraulic Structures- Water Structures)

الف .سازه های انتقال آب:

سازه هایی که برای انتقال آب و یا حمل آن از نقطه ای به نقطه دیگر استفاده می شود. به خصوص در مواردی که مسیر عبور آب با عوارض طبیعی یا مصنوعی مانند جاده، راه آهن، رودخانه و ... مواجه می باشد. (کانال، خطوط لوله، زیرگذر جاده (کالورت)، سیفون معکوس و...)

ب .سازه های کنترل یا تنظیم آب:

این سازه ها برای تنظیم جریان عبوری یا کنترل سطح آب و یا به هر دو منظور کاربرد دارد.

مانند سازه های تنظیم کننده، شیب شکن

ج .سازه های اندازه گیری:

برای اندازه گیری و سنجش مقدار جریان عبوری و اندازه گیری دیگر پارامترهای جریان، همانند روزنه ها، سرریزها و پارشال فلوم

د .سازه های حفاظت ایمنی:

با هدف حفاظت شبکه انتقال آب از خسارات، حفاظت اراضی و تأسیسات پیرامون آن و حفاظت کاربران تحت تأثیر سیستم

مراحل کلی طراحی و اجرای سازه های آبی

فاز صفر، مرحله مقدماتی، شناسایی :بیشتر بحث کار روی نقشه، بررسی عوارض طبیعی و مصنوعی، مسیریابی تقریبی، ارائه نقشه کلی مسیر یا مسیرها و بررسی جوانب مسیر، شمای کلی از شبکه کانال، مطالعات جزئی و کلی زمین شناسی، هیدرولوژی و غیره در قالب بازدید صحرایی

فاز اول، امکانپذیری :در این مرحله مطالعات دقیق تری از زمین شناسی، هیدرولوژی و تعیین مکان های مناسب برای تهیه مصالح جهت ساخت و در نهایت ارائه نقشه کامل طرح که کلیه جوانب طرح در آن لحاظ می شود.

فاز دوم، طرح نهایی : در این فاز کلیه مطالعات (هیدرولوژی، هیدرولیک، سیلاب، زمین شناسی و منابع قرضه، اقتصادی و اجتماعی، محیط زیست) مورد بررسی دقیق مهندسی قرار گرفته و با مطالعه و مقایسه راه کارهای مختلف اجرایی، گزینه نهایی برای پروژه انتخاب می گردد.

فاز سوم، اجرا و نظارت : برگزاری مناقصه، انتخاب دستگاه نظارت و اجرای پروژه

فصل اول

کانال ها

اهداف مورد انتظار از طراحی کانال ها:

- آبیاری و زهکشی
- آبرسانی شهری
- تخلیه فاضلاب
- کشتی رانی
- انتقال آب از رودخانه یا دریاچه سد به سمت توربین

بسته به اهداف ذکر شده، طراحی این کانال ها می تواند به طور کامل با یکدیگر متفاوت باشد.

کانال ها از پر مصر فترین سازه های انتقال آب هستند زیرا:

- **سادگی طراحی و اجرا**
- **در دسترس بودن نیروی انسانی**
- **انعطاف پذیری اجرا در موقعیت های مختلف (مواجهه با عوارض زمین شناسی، تقاطع با راه ها و ...)**
- **تنوع در شکل، اندازه و فرم**
- **قابلیت انتقال دبی های کم تا خیلی زیاد**

طراحی مجاری انتقال آب با سطح آزاد، دو بخش اساسی را شامل می شود که می بایست به صورت توأمان صورت گیرد:

طراحی هیدرولیکی

طراحی سازه ای

به طور کلی در طراحی هیدرولیکی به موارد زیر پرداخته می شود:

مسیریابی

تعیین شکل و ابعاد مقطع عرضی

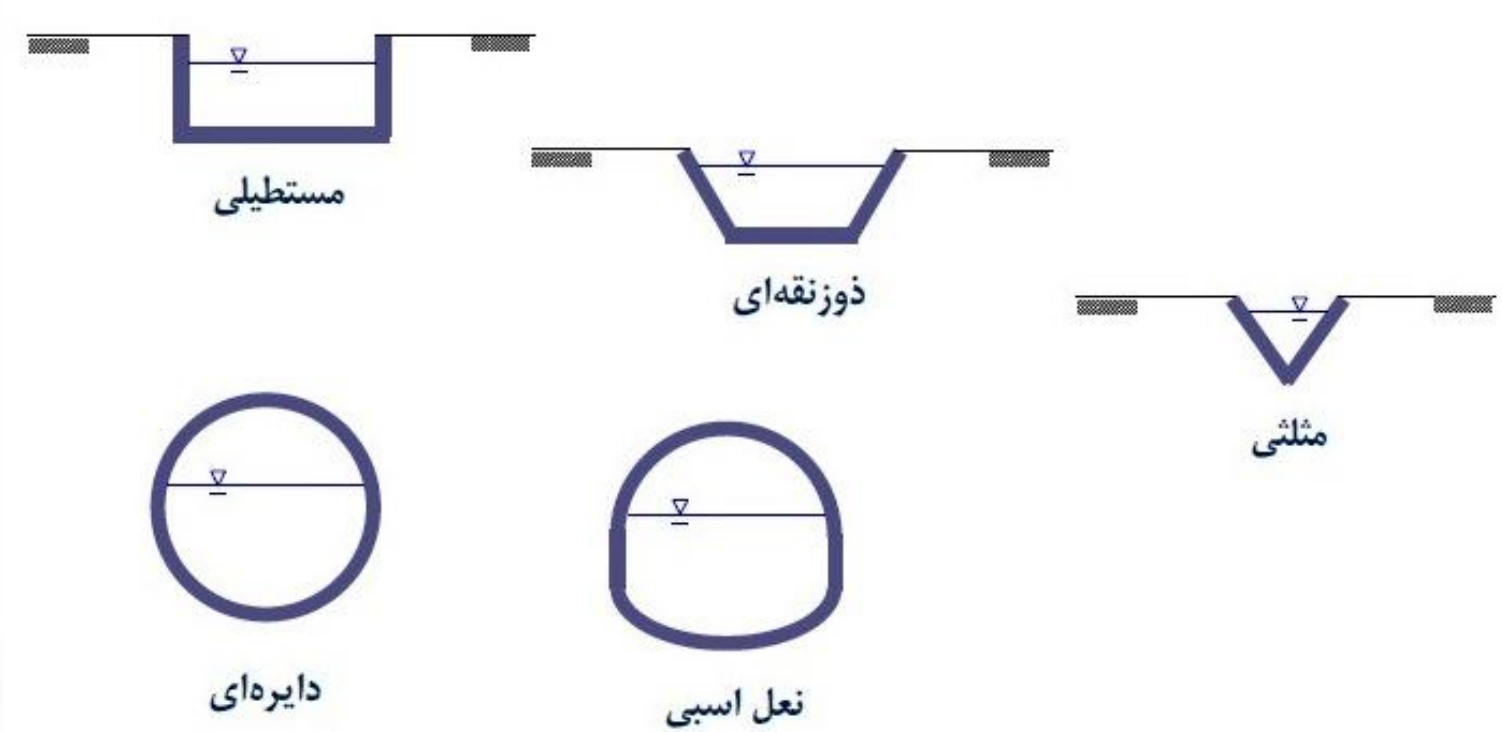
شکل مقطع کانال، تحت تأثیر پارامترهای زیر است:

- ✓ظرفیت سازه
- ✓سرعت بهینه جریان
- ✓پایداری سازه
- ✓مسائل بهره برداری و نگهداری

ظرفیت یک سازه انتقال آب، به طور مستقیم، تابع عوامل زیر می باشد:

- نیازهای آبی پایین دست
- طول مسیر
- تلفات آب در اثر تبخیر یا نشت عمیق

طبقه بندی انواع کانال بر اساس شکل



طبقه بندی انواع کانال بر اساس جنس بدنه

کانال‌های طبیعی، بدون پوشش، خاکی، فرسایش‌پذیر

کانال‌های پوشش‌دار، فرسایش‌ناپذیر

مسیریابی

- تعیین مسیر عبور کانال یکی از مهمترین بخش های طراحی کانال می باشد که می تواند ایمنی پروژه، هزینه های اجرایی و نیز بهره برداری و نگهداری را تحت الشعاع قرار دهد.
- نکاتی که می بایست جهت مسیریابی در نظر گرفت:
- مسیر طوری انتخاب شود که بر نقطه مصرف سوار باشد، علت اصلی این است که عامل حرکت، انرژی ثقل آب و در نتیجه شیب طولی کانال است.

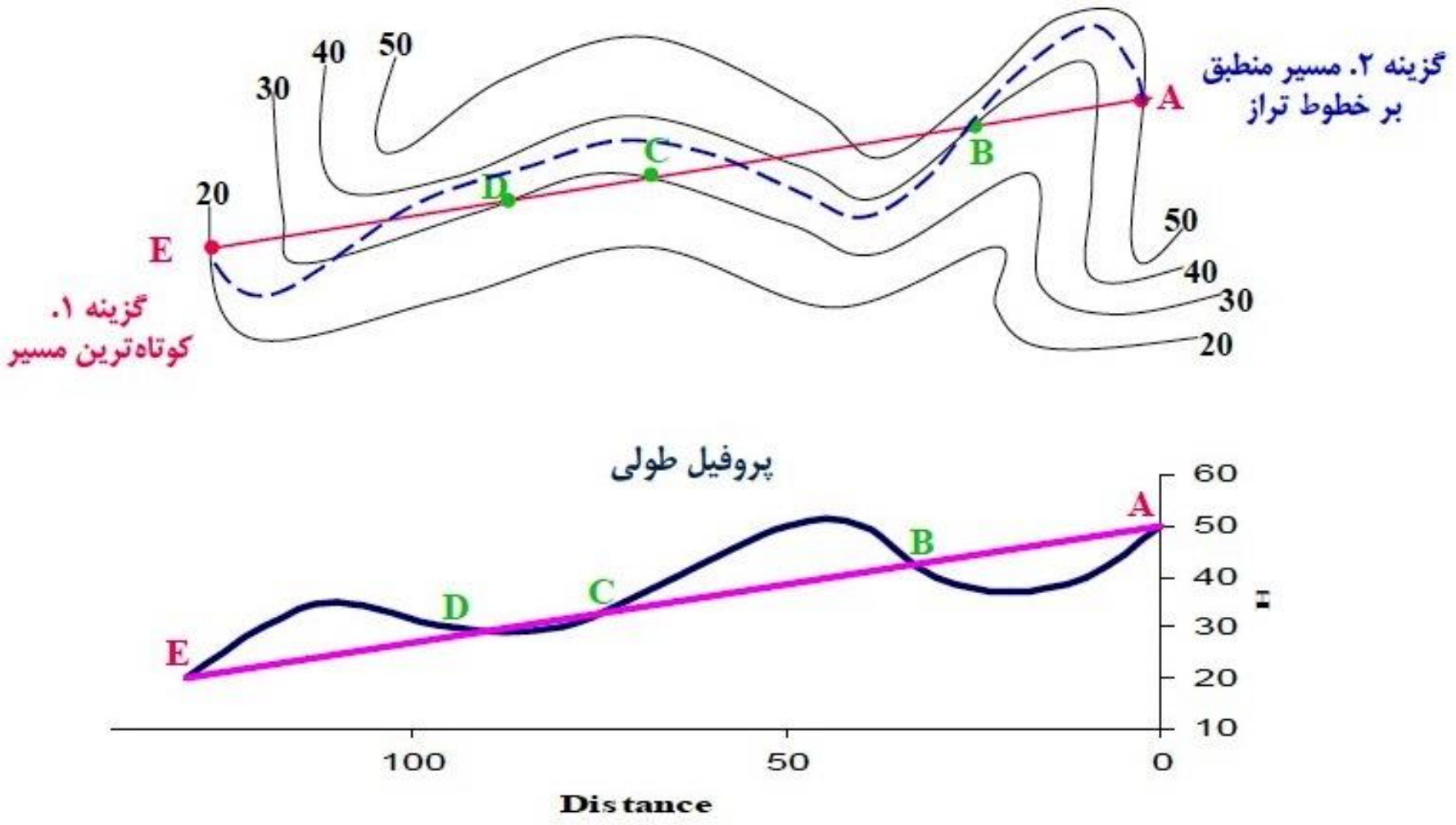
$$F_{water} = mg.Sin\theta$$

- با حفظ جوانب هیدرولیکی، کوتاه ترین مسیر که از لحاظ اقتصادی، ارزان ترین طرح باشد، انتخاب شود.

مسیریابی

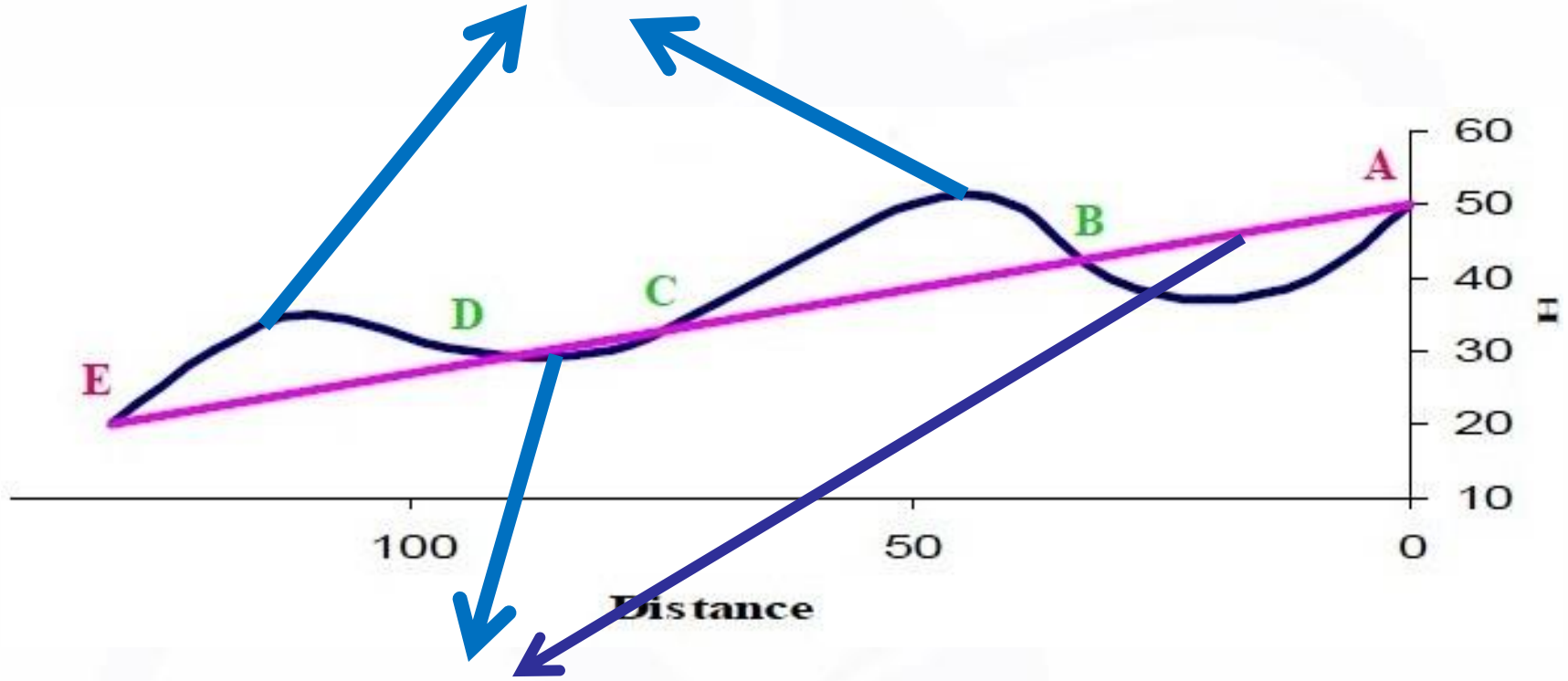
- سعی شود مسیر کانال از اراضی مشکل دار مانند مکان های سیل گیر، طغیانی، ریزش سنگ، سنگلاخی و... عبور نکند و نیز کلیه مسائل ملکی و حقوقی در انتخاب مسیر لحاظ گردد.
- سعی شود مسیر به گونه ای انتخاب شود که بیشتر عملیات اجرای کانال، خاکبرداری باشد نه خاکریزی(هزینه بالا)، زیرا خاکریزی به عملیات بیشتری نیاز داشته و برای پایداری کانال هزینه بیشتری به پروژه تحمیل می گردد.
- در انتخاب مسیر طرح های توسعه آینده کانال و همچنین تأسیسات موجود منطقه به حساب آید.

پلان مسیر


گزینه ۲. مسیر منطبق
بر خطوط تراز
گزینه ۱.
کوتاه‌ترین مسیر
A
B
C
D
E
50
40
30
20
پروفیل طولی
60
50
40
30
20
10
100
50
0
Distance

پروفیل طولی

به جای خاکبرداری از تونل استفاده می شود



به جای خاکریزی باید از سیفون معکوس استفاده شود.

یا

معادلات پایه

معادلات بیان کننده شرایط جریان در طراحی مجاری انتقال آب با سطح آزاد

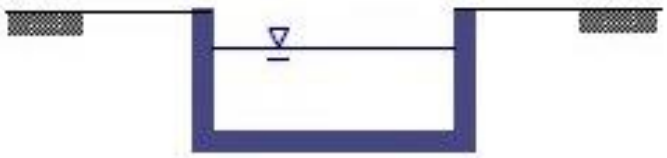
- **معادله پیوستگی**

$$Q = V.A$$

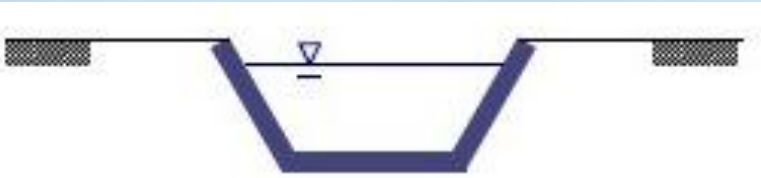
- **معادله مانینگ**

$$Q = \frac{1}{n}.A.R^{2/3}.S_f^{1/2} \qquad V = \frac{1}{n}.R^{2/3}.S_f^{1/2}$$

پایداری(تعیین شیب های جانبی)



- ساده ترین شکل مجرای خاکی، مقطع مستطیلی است.
- با وجود سادگی محاسبات، فاقد اولویتهای اجرایی و نگهداری بوده و به خصوص در مجاورت آب نمی تواند در مدت زمان طولانی پایداری خود را حفظ کند.
- بنابراین باید با استفاده از روش های پایدار کننده، استحکام و پایداری آن را تقویت نمود.
- تنها در مصالح سنگی ضخیم لایه و گسترده مانند بازالت و کنگلومرا که مقاومت برشی بالایی دارند، می تواند پایدار باشد.
- مشکل فعالیت وسایل مکانیکی عادی در چنین مصالحی است که به اجبار از مواد منفجره با دامنه عمل محدود استفاده می شود که آن نیز به علت هزینه بالا، به ندرت انجام می شود.



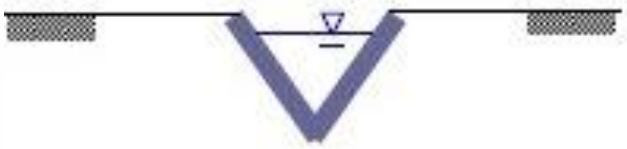
پایداری(تعیین شیب های جانبی)

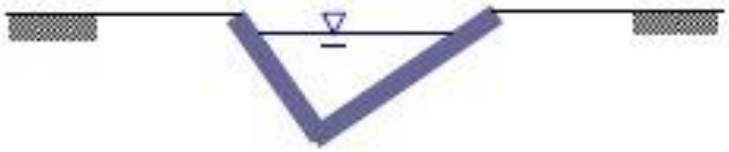
- مقاطع ذوزنقه ای مشکلات یاد شده را ندارند، لذا گزینه مناسب تری برای شکل مقطع کانال ها هستند. (پرکاربردترین شکل مقاطع مورد استفاده)

- چنانچه در موارد خاص، اصرار به اجرای مقطع مستطیلی در مصالح خاکی باشد، ابتدا مقطع به طور ذوزنقه ای گودبرداری شده و پس از آن مقطع را با مصالح مناسب پر می کنند.

پایداری(تعیین شیب های جانبی)

با کم شدن عرض کف کانال، مقاطع مثلثی شکل تشکیل می شود.





بیشترین کاربرد این مقاطع، در آبروهای جمع آوری رواناب سطحی در پروژه های راهسازی می باشد.

مشکل کاربردی این نوع مجاری، ظرفیت انتقال پایین آنها است.

همچنین اتلاف آب ناشی از تبخیر در آنها بالا بوده و به همین دلیل به ندرت در پروژه های آبیاری از آنها استفاده می شود.

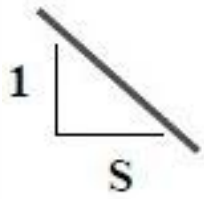
•معیارهای تعیین شیب های جانبی کانال

1. شیب طرفین بر اساس نوع خاک و نوع پوشش کانال تعیین می گردد.
2. کمترین شیب ممکن، مانع از گسیختگی خاک می شود.
3. بیشترین شیب ممکن، اتلاف آب ناشی از تبخیر را به حداقل می رساند.
4. شیب جانبی بهینه، هر دو معیار فوق را تعیین کند.
5. شیب جانبی برای کانالهای حفر شده در درون زمین، را می توان تندتر از شیب جانبی کانالهای احداثی روی خاکریز در نظر گرفت.

- معیارهای تعیین شیب های جانبی کانال

6. شیب جانبی کانال های پوشش دار را می توان شدیدتر از شیب جانبی کانال های بدون پوشش در نظرگرفت.
7. برای کانال های بتنی می توان شیب ۱: ۱ در نظر گرفت اما لازم است تا قالب بندی انجام شود.

شیب جانبی مناسب در کانال ها بر اساس نوع مصالح بستر



(S افقی به 1 عمودی)

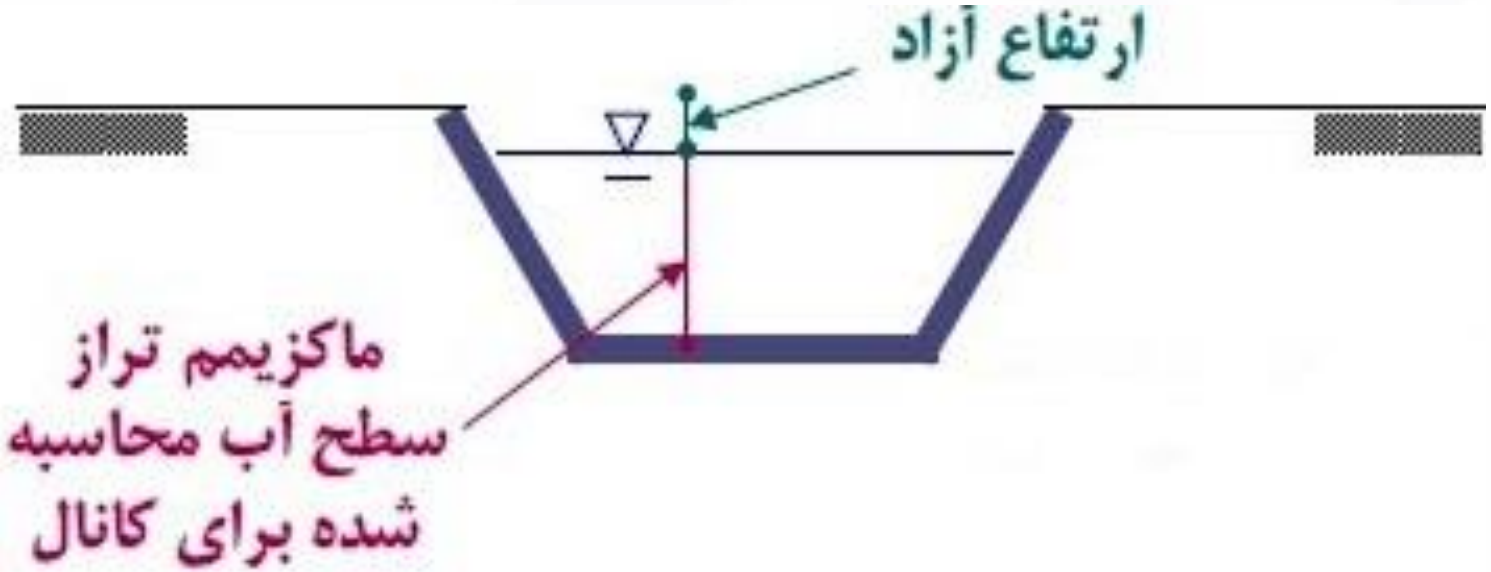
نوع مصالح بستر	شیب جانبی (S)	نوع مصالح بستر	شیب جانبی (S)
سنگی مقاوم	0.00-2.50	ماسه‌ای بسیار سست	3.00
سنگی ورقه ورقه شده	0.25	لومی	1.50
سنگی با ملات سیمان	0.75	شنی از نوع درشت	1.25
رسی متراکم	1.00	خاکی در کانال‌های کوچک	1.50
ماسه‌ای سست	2.00	بتنی در کانال‌های غیرآبیاری	1.00-1.50

شیب طولی (Longitude Slop)

- تبعیت شیب کانال از شیب طبیعی زمین
- عوامل مؤثر در انتخاب: توپوگرافی منطقه، هدف از طراحی کانال، انرژی لازم برای انتقال دبی طرح، اقتصاد پروژه
- اصولا شیب باید طوری باشد که جز در موارد خاص، جریان در کانال زیر بحرانی باشد.
- اگر بخواهیم سرعت در حد ایمنی باشد، عدد فرود در حد 0.3 تا 0.4 نه اینکه سرعت آب باعث ایجاد فرسایش شود و نه اینکه باعث رسوب گذاری شود.
- در طرح های مختلف مهندسی از 1:1000 تا 25:1000 و حتی 0.1:1000
- برای کانالهای شبکه های آبیاری، مطابق استاندارد فرانسه، شیب پیشنهادی برابر 0.0001 تا 0.0005 است.

ارتفاع آزاد(*Free Board*)

منظور از ارتفاع آزاد در یک مجرای انتقال آب، ارتفاعی است که بالاتر از تراز بیشینه آب در مجرا پیش بینی می شود.



دلیل در نظر گرفتن ارتفاع آزاد :

لبریز شدن کانال در اثر ورود آب های اضافی مانند جریان سیلاب ها

کاهش عمق ناشی از رسوب گذاری

افزایش تدریجی زبری بستر در طول زمان بهره برداری

ایجاد امواج ناشی از وزش باد

فراب احتمالی ناشی از عملکرد برخی از سازه های هیدرولیکی مسیر

ارتفاع آزاد (Free Board)

استانداردهای موجود جهت محاسبه ارتفاع آزاد:

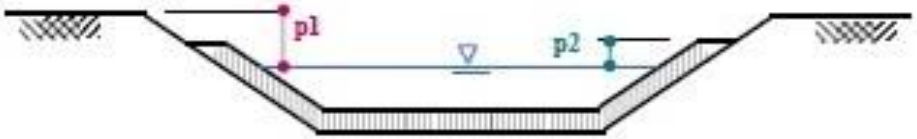
استاندارد USBR (آمریکا) گراف

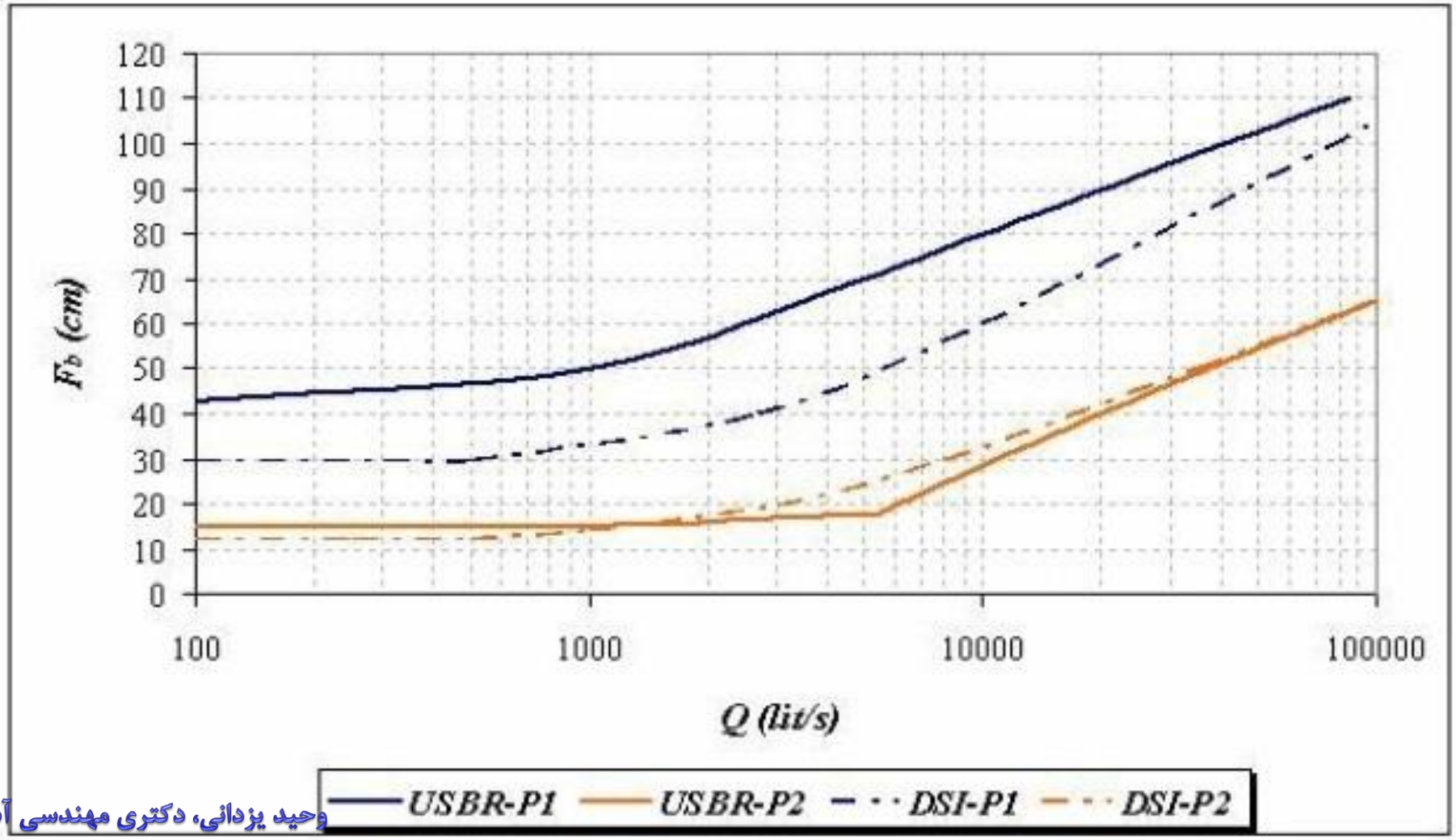
استاندارد DSI (ترکیه) گراف

استاندارد هندوستان

مقادیر ارتفاع آزاد نرمال بر اساس استاندارد هندوستان

Q(m3/s)	< 0.15	0.15 ~ 0.75	0.75 ~ 1.50	1.50 ~ 9.00	> 9.00
Fb(m)	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90

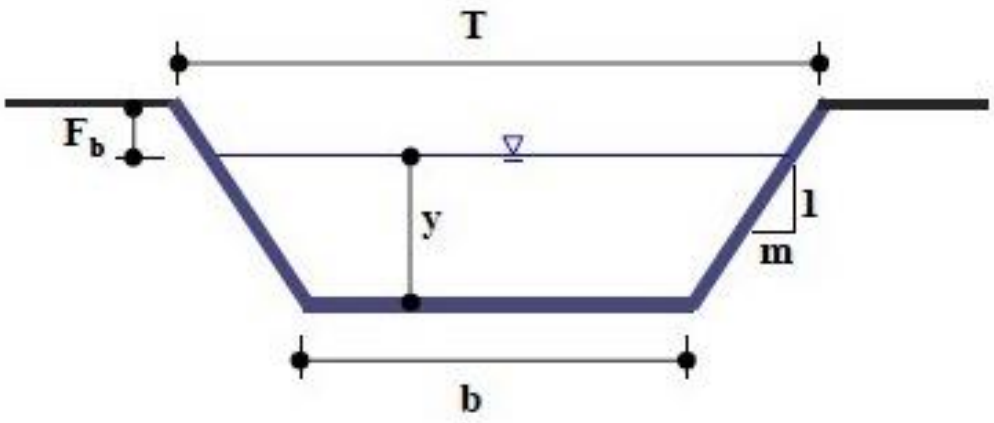

p1
p2


120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
F_b (cm)
100
1000
10000
100000
Q (lit/s)
USBR-P1
USBR-P2
DSI-P1
DSI-P2

تعیین شکل مقطع

- برای عبور حداکثر دبی می بایست شعاع هیدرولیکی حداکثر شود. به این ترتیب شکل مقطع به سمت دایره ای میل می کند.
- به همین دلیل استفاده از مقاطع نیم دایره ای کاربرد زیادی پیدا کرده است. برای پایداری نیاز است تا کانال از جنس بتن یا بتن مسلح باشد.
- در بحث کانالها، سهولت اجرا و بهره برداری باعث گردیده تا شکل مقطع ذوزنقه ای متداول ترین شکل مقطع در طراحی باشد.

مشخصات مقطع ذوزنقه ای :



Q: دبی ، ثابت

: ارتفاع آزاد

P: محیط خیس شده

T: عرض آزاد سطح آب

A: سطح مقطع جریان

سرعت جریان در کانالها

- تعیین حداقل سرعت مجاز در کانال ها:
- بر اساس ته نشین شدن رسوبات معلق در آب
- بر اساس رشد گیاهان آبزی: برای جلوگیری از رشد گیاهان آبزی، سرعت متوسط جریان می بایست بیش از 0.5 الی 0.6 متر بر ثانیه باشد. به ازای سرعت های کمتر جریان و عمق آب کمتر از 1.5 تا 2.0متر امکان رشد گیاه به وجود می آید.
- بر اساس درجه یخبندان

•تعیین حداقل سرعت مجاز - بر اساس ته نشین شدن رسوبات معلق در آب

•رابطه لاتیشنکو ***Latishenko***:

$$V_{min} = 1.6(gD_s)^{0.5}(\frac{y}{D_s})^{0.2}$$

D_s : قطر متوسط دانه های بستر (m) ،
حداقل سرعت V_{min} (m/s) و
عمق آب y ،(m)

•بر اساس استاندارد هندوستان (برای کانال با خاک بستر از نوع سیلت و ماسه یا سیلت با خاک رس):

$$V_{min} = 0.41y_n^{0.64}$$

yn نرمال عمق (m) و $Vmin$ سرعت حداقل (m/s)

- مطابق با تحقیقات مؤسسه *USBR* چنانچه عدد فرود بین *0.12* تا *0.35* باشد، در کانال ها رسوبات ته نشین نشده و کلنال های خاکی فرسایش نخواهند داشت.

بهترین مقطع هیدرولیکی

برای سطح مقطع جریان(A) معین، چنانچه محیط تر شده حداقل باشد، سرعت و دبی جریان حداکثرخواهد بود.

برای کانال های ذوزنقه ای که کاربردی تر هستند، در صورت معلوم بودن شیب جانبی، برای بهترین مقطع هیدرولیکی نسبت عرض کف به عمق جریان می بایست رابطه زیر را ارضا کند:

$$\frac{b}{y} = 2\{\sqrt{1+m^2} - m\}$$

- تمرین :ثابت کنید به ازای مقادیر مختلف m ، بهترین مقطع هیدرولیکی زمانی حاصل می شود که

$$m = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

تمرین

بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی و مثلثی را پیدا کنید؟

- همیشه بهترین مقطع هیدرولیکی، اقتصادی ترین مقطع نیست. برای تعیین اقتصادی ترین مقطع می بایست، مجموع هزینه های مربوط به خاکبرداری، خاکریزی، پوشش کانال و تملک اراضی حریم کانال حداقل گردد.
- با توجه به اینکه در این روش، برای دبی معین سطح مقطع جریان مینیمم و در نتیجه سرعت جریان ماکزیمم می شود، می بایست کنترل کرد که سرعت جریان در حد مجاز بوده و مشکلی بابت ایمنی کانال ایجاد نکند.
- ابعاد تعیین شده کانال می بایست به گونه ای در نظر گرفته شود که قابل اجرا و ساخت باشد. معمولاً عمق آب بیش از 4.0m مجاز نبوده و حداقل عرض برای کف کانال های بتنی 1.2 تا 1.5m است.

- در مناطق گرم و خشک این نسبت را می بایست تا قدر ممکن کمتر در نظر گرفت تا سطح تماس آب و هوا کاهش یابد و از اتلاف انرژی ناشی از تبخیر جلوگیری شود.

مشخصات هندسی بهترین مقطع هیدرولیکی در برخی کانال ها

نوع کانال	سطح مقطع جریان (A)	محیط تر شده (P)	شعاع هیدرولیکی (R) $R=A/P$	عرض سطح آزاد (T)	عمق هیدرولیکی (D) $D=A/T$
ذوزنقه‌ای	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{1}{2}y$	$4\frac{\sqrt{3}}{3}y$	$\frac{3}{4}y$
مستطیلی	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2}y$	$2y$	y
مثلثی	y^2	$2\sqrt{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{4}y$	$2y$	$\frac{1}{2}y$

طراحی کانال های فرسایشی (خاکی)

مهمترین مسائلی که کانال های خاکی با آنها مواجه هستند و می بایست از لحاظ طراحی مورد توجه قرار گیرند، شامل:

1. مسائل مربوط به فرسایش
2. مسائل مربوط به ته نشین شدن رسوبات
3. مسائل مربوط به اتلاف یا نشت آب از بدنه کانال

روش های طراحی کانال های فرسایشی:

روش ۱ .با استفاده از حداکثر سرعت مجاز

روش ۲ .با استفاده از نیروی برشی مجاز

حداکثر سرعت مجاز

- حداکثر سرعت مجاز به سرعتی گفته می شود که در کانال فرسایش ایجاد نمی گردد. این سرعت وابسته به عواملی همچون بافت خاک، رسوبات معلق در آب، عمق آب و عمر کانال می باشد.
- معمولاً کانال های مستعمل نسبت به کانال های تازه ساز، مقاومت بیشتری در مقابل جریان دارند.
- در کانال های عمیق تلاطم جریان کمتر به کف و دیوارهای جانبی منتقل می شود و نسبت به کانال های کم عمق در مقابل جریان مقاومترند.
- در کانال هایی که رسوبات ریزدانه دارند، رسوبات به جداره کانال چسبیده و منافذ را پر می کنند و مقاومت کانال در برابر فرسایش را افزایش می دهند.
- جهت تعیین حداکثر سرعت مجاز می توان به یکی از روش هایی که در ادامه تشریح می شود، عمل نمود.

روش اول محاسبه حداکثر سرعت مجاز :

در خاک های غیرچسبنده :

$$V_{max} = 3\left(\frac{d_{50}}{D_{max}}\right)^{0.2}(y)^{0.5}(d_{50}+0.0014)^{0.3}$$

در خاک های چسبنده :

$$V_{max} = K(R)^{\frac{1}{2+R}}$$

- در روابط فوق

V_{max} حداکثر سرعت مجاز(m/s)، d_{50} قطر متوسط دانه های بستر خاک (m)،

D_{max} حداکثر قطر دانه های رسوب در آب (m)وy عمق جریان (m)، R شعاع هیدرولیکی (m)و K ضریبی است که به صورت زیر تعریف می شود.

$$K = \begin{cases} 0.4 \sim 0.6 & \text{برای خاک‌ها با تراکم کم} \\ 0.8 \sim 0.9 & \text{برای خاک‌ها با تراکم متوسط و زیاد} \end{cases}$$

محاسبه حداکثر سرعت مجاز
روش دوم:

بر اساس پیشنهاد مؤسسه ***USBR*** چنانچه عدد فرود از 0.35 تجاوز نکند، در کانال های خاکی فرسایش ایجاد نمی شود.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

عمق هیدرولیکی

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

در کانال با مقطع مستطیلی D=y

- روش سوم:

اکثر محققان بافت خاک را عامل اصلی تعیین کننده حداکثر سرعت مجاز می دانند.

برای جریان سیلابی با دبی زیاد و کوتاه مدت به مقادیر داخل جدول تا 30 % اضافه می گردد.

حداکثر سرعت مجاز در کانال های خاکی بر اساس پیشنهاد فورتیه و اسکوبی در مؤسسه USBR برای کانال های تا عمق 1m

نوع خاک بستر	سرعت مجاز (m/s)		ضریب زبری (n)	نوع خاک بستر	سرعت مجاز (m/s)		ضریب زبری (n)
	آب صاف	آب حاوی سیلت کلوئیدی			آب صاف	آب حاوی سیلت کلوئیدی	
ماسه ریز کلوئیدی	0.46	0.76	0.020	سیلت آبرفتی کلوئیدی	1.14	1.52	0.025
لوم ماسه‌ای غیرکلوئیدی	0.53	0.76	0.020	شیل و سنگ رس	1.83	1.83	0.025
لوم سیلتی غیرکلوئیدی	0.61	0.91	0.020	شن ریز	0.76	1.52	0.020
سیلت آبرفتی غیرکلوئیدی	0.61	1.07	0.020	لوم لایه‌بندی شده تا حد قلوه سنگ بدون مواد کلوئیدی	1.14	1.52	0.030
لوم سخت معمولی	0.76	1.07	0.020	سیلت لایه‌بندی شده تا حد قلوه سنگ با مواد کلوئیدی	1.22	1.68	0.030
خاکستر آتشفشانی	0.76	1.07	0.020	شن درشت غیرکلوئیدی	1.22	1.83	0.025
رس سخت، خیلی کلوئیدی	1.14	1.52	0.025	ریگ با قلوه سنگ	1.52	1.86	0.035

•گام های طراحی کانال خاکی با استفاده از روش حداکثر سرعت مجاز

۱ .تعیین شیب کف کانال(شیب طولی)

۲ .نمونه برداری از خاک مسیر و تخمین ضریب زبری

۳ .تعیین شیب جانبی با توجه به نوع خاک

۴ .محاسبه حداکثر سرعت مجاز

۵ .بر اساس معادله مانینگ محاسبه عرض کف جریان، عمق آب

۶. کنترل b/y جهت تامین مسائل اجرایی و ساخت

۷ .کنترل حداقل سرعت مجاز از لحاظ ته نشینی رسوبات

۸ .تعیین ارتفاع آزاد و محاسبه کل ارتفاع کانال (در نهایت می بایست عدد رندی برای ارتفاع کانال به دست آید)

•طراحی کانال های غیر فرسایشی

•در کانال های غیرفرسایشی معمولاً حداکثر سرعت غیرمجاز مطرح نمی باشد و برای جلوگیری از ته نشینی رسوبات حداقل سرعت مجاز مطرح است.

•اما جهت رعایت ملاحظات ایمنی، حداکثر سرعت مجاز به ازای جریان فوق بحرانی برای انواع کانال ها به صورت زیر توصیه می شود. این اعداد برای جریان های زیر بحرانی تقریباً **نصف** می شود.

•کانال بتنی : 6m/s

•کانال فولادی: 10m/s

•کانال آجرفرش با ملات سیمان:2.5m/s

•کانال آجرفرش با پلاستر سیمان:4m/s

•طراحی کانال های غیر فرسایشی

•جهت طراحی کانال های غیرفرسایشی (پوشش دار) می توان از یکی از روش های زیر استفاده کرد:

۱ .روش اول ***USBR***

۲ . روش دوم ***USBR***

۳ .روش هندوستان

۴ .روش بهترین مقطع هیدرولیکی

• USBRطراحی کانال های غیر فرسایشی - روش اول

•در این روش برای کانال های آبیاری با مقطع ذوزنقه ای و دارای پوشش رابطه زیر پیشنهاد می شود:

$$y = \frac{\sqrt{A}}{2}$$

در این رابطه Aسطح مقطع جریان وy عمق جریان در کانال می باشد.
بنابراین می توان از رابطه نهایی زیر جهت طراحی استفاده نمود:

$$A = (b + my) = (\frac{b}{y} + m)y^2 \Longrightarrow \frac{b}{y} + m = 4$$

•طراحی کانال های غیر فرسایشی - روش دوم *USBR*

•در این روش برای عرض کف استفاده از اعداد جدول زیر توصیه می شود. این جدول براســاس ملاحاظات و اقتصادی ارائه شده است.

عرض کف توصیه شده توسط *USBR* برای کانال های ذوزنقه ای غیرفرسایشی

100	80	60	50	40	30	20	15	10	5	1	$Q\ (m^3/s)$
8.0	6.6	4.8	4.2	3.8	3.3	2.9	2.6	2.3	1.8	1.2	$b\ (m)$

•طراحی کانال های غیر فرسایشی - روش هندوستان

•در این روش برای کانال های آبیاری با مقطع ذوزنقه ای و دارای پوشش رابطه زیر پیشنهاد می شود:

$$y = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

در این رابطه A سطح مقطع جریان و y عمق جریان در کانال می باشد.

بنابراین می توان از رابطه نهایی زیر جهت طراحی استفاده نمود:

$$\frac{b}{y} + m = 3$$

مطابق مباحث ذکر شده، در این روش می توان از رابطه نهایی زیر جهت طراحی کانال با مقطع ذوزنقه ای استفاده نمود

$$\frac{b}{y} = 2\{\sqrt{1+m^2} - m\}$$

در این رابطه A سطح مقطع جریان و y عمق جریان و m شیب دیواره های جانبی کانال است.

•گام های طراحی کانال غیرفرسایشی

۱ .تعیین ضریب زبری کانال با توجه به نوع کانال و کلیه پارامترهای مؤثر بر ضـریب زبـری اعم از آبگیرها، پل ها و سازه های آبی در مسیر جریان و نیز مارپیچی بودن یا نبودن کانال

۲ .تعیین شیب کانال بر اساس بهترین واریانت انتخاب شده مسیر و شیب جانبی بر اسـاس نوع پوشش و خاک

۳ .محاسبه کلیه پارامترها و ابعاد کانال با استفاده از یکی از روش های ذکر شده

۴ .کنترل حداقل و حداکثر سرعت مجاز

۵ .تعیین ارتفاع آزاد با استفاده از جدول یا نمودار بخش مربوطه

۶ .بررسی واریانت های مختلف و انتخاب اقتصادی ترین آنها

•مثال طراحی کانال غیرفرسایشی

مطلوب است طرح کانال غیر فرسایشی با مقطع ذوزنقه ای در صورتی که شیب طـولی انتخـاب شـده $S_0=0.0003$، ضریب زبری $n=0.017$ شیب جانبی $m=1.5$ و دبی جریان $Q=12\ m^3/s$ باشد. قطر متوسط دانه های رسـوب بـه ازای دبی طرح $Ds=0.2\ mm$ پیش بینی می شود. کانال برای امور آبیاری در نظر گرفته شده است.

حل به روش اول *USBR*:

$$\frac{b}{y}+m=4 \Longrightarrow \frac{b}{y}=4-m=4-1.5=2.5$$

$$A=\left(\frac{b}{y}+m\right)y^2=4y^2$$

$$P=b+2y\{\sqrt{1+m^2}=\left\{\frac{b}{y}+2\sqrt{1+m^2}\right\}y=6.1056y\}$$

$$R=\frac{A}{P}=0.655y$$

•به این ترتیب پارامترهای جریان بر اساس مقدار مجهول y به دست آمدند. جهت محاسبه این مقدار مجهول می توان از رابطه مانینگ بهره برد:

$$Q = \frac{1}{n} A.R^{\frac{2}{3}}.S_o^{\frac{1}{2}}$$

$$12 = \frac{1}{0.017}(4y^2) \times (0.655y)^{\frac{2}{3}} \times (0.003)^{\frac{1}{2}}$$

$$y = 1.67m$$

•بنابراین:

$$b = 2.5y = 4.175m \cong 4.2m$$

$$A = 4y^2 = 11.156\, m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12}{11.156} = 1.07m/s$$

•حال می بایست با استفاده از روابط مربوطه و استانداردUSBR،حداقل سرعت مجاز درکانال را کنترل نمود.

$$V_{min} = 1.6 \times \left(9.81 \times 0.2 \times 10^{-3}\right)^{0.5} \left(\frac{1.67}{0.2 \times 10^{-3}}\right)^{0.2} = 0.43\, m/s$$

$$V_{min} = 0.41 \times 1.67^{0.64} = 0.57 \quad m/s \quad \Rightarrow \quad \boxed{V > V_{min}} \qquad O.K$$

$$T = b + 2my = 4.175 + 2 \times 1.5 \times 1.67 = 9.185 \quad m$$

$$D = \frac{A}{T} = 1.215 \quad m$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.07}{\sqrt{9.81 \times 1.215}} = 0.31 \quad \Rightarrow \quad \boxed{Fr > 0.12} \qquad O.K$$

- محاسبه ارتفاع آزاد

- با استفاده از جدول $F_b = 0.90m$
- با استفاده از نمودار (DSI) $F_b = 0.65m$
- با استفاده از نمودار $(USBR)$ $F_b = 0.85m$

- ارتفاع آزاد مربوط به پوشش نیز 0.35m است.

- چنانچه ارتفاع آزاد 0.83m انتخاب شود، ارتفاع کانال 2.5m خواهد بود که عدد رندی است.

- تمرین سری اول

این مسأله را با استفاده از روش دوم *USBR*، روش هندوستان و نیز روش بهترین مقطع هیدرولیکی حل نمایید.

•انواع پوشش کانال

•نقش پوشش در کانال ها بسته به هدفی که از کانال انتظار می رود، متفاوت است.

•در کانال های آبرسانی وظیفه حفاظت کانال در برابـر آبشســتگی و کاهش اتلاف آب از بدنه کانال را بر عهده دارد.

•در کانال های زهکشی تنها جهت جلوگیری از آبشستگی اجرا مـی شود.

•انواع پوشش هایی که در کانال مورد استفاده قرار می گیرد:

- پوشش با خاک غیر قابل نفوذ
- پوشش با مصالح ساختمانی
- پوشش بتنی
- پوشش با مواد قیری
- پوشش گیاهی

پوشش با مواد پلاستیکی

- پوشش با خاک غیرقابل نفوذ

- متراکم کردن خاک بستر :در خاک های با بافت ریز چنانچه خاک تا مرز حداکثر وزن مخصوص خود متراکم شود، نفوذپذیری به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. برای نیل به این هدف پس از تسیطح، خاک بستر را با غلتک پاچه بزی و یا غلطک مناسب دیگری، همزمان با مرطوب نمودن خاک، تا حد وزن مخصوص مورد نظر متراکم می نمایند. برای جلوگیری از تر ک خوردگی در حین بهر ه برداری (تر و خشک شدن مدام بستر) سطح بدنه کانال را با یک لایه شن به ضخامت ۱۵ الی ۳۰ سانتیمترمی پوشانند.

•پوشش با خاک غیرقابل نفوذ

•**پوشش با لایه نازک متراکم شده رسی** :خاک رس به عنوان خاکی با نفوذپذیری بسیار کم برای پوشش گزینه مناسبی است. اما جون خاک رس در مقابل آبشستگی مقاومتی از خود نشان نمی دهد، آن را با مصالح دیگری چون ماسه، سیلت و شن ترکیب می کنند. لایه متراکم شده رس می بایست ضخامتی در حدود ۱۵ الی ۳۰ سانتیمتر داشته باشد. این پوشش را تا ۹۰ الی ۹۵ درصد حداکثر وزن مخصوص آزمایشگاهی خود متراکم می کنند.

- **پوشش کانال با مصالح ساختمانی**

- این پوشش از قدیم یترین رو شها برای مقابله با آبشستگی است. سنگ های سخت و عاری از ترک برای این کار مناسب بوده و از سنگ هایی که در اثر مجاورت با آب از هم پاشیده می شوند یا فرسوده می گردند، نباید استفاده نمود. پوشش با مصالح ساختمانی به یکی از سه شکل زیر اجرا می شود:

- **پوشش با مصالح ساختمانی بدون ملات** : تنها برای مقاومت کانال در برابر آبشستگی است و از تلفات ناشی از نشت کانال جلوگیری نمی کند. برای تعیین قطر و وزن سنگ های پوشش می توان از استاندارد *USBR* استفاده نمود.

- پوشش با مصالح ساختمانی با ملات : برای صرفه جویی در مصرف ملات، سعی می شود تا از سنگ هایی با شکل های منظمتر استفاده نمود.

•پوشش به صورت تشک های گابیونی : چنانچه نفوذپذیری جداره کانال اهمیتی نداشته باشد، از این پوشش برای پوشش دار کردن کانال استفاده می شود.

•تشک های گابیونی

•برای اجرای گابیون به این ترتیب عمل می کنند که در ابتدا جداره کانال را صاف کرده و پس از آن توری از سیم گالوانیزه با قطر 3 تا 5 میلیمتر را روی جداره کانال پهن می نمایند. اضلاع توری حدود ۱۰ سانتیمتر است.گالوانیزه بودن کامل توری و بستن دقیق کناره های توری به یکدیگر، از شروط اصلی موفقیت اجرای این پوشش است. سنگ ها با قطر حداقل 15 تا 18 سانتیمتر را با دقت و با دست در داخل توری و کنار هم می چینند. فضای خالی سنگ ها را می توان با سنگ های کوچکتر پرنمود. وقتی کانال دارای عمق بیشتر از 1.5 تا 2 متر و شیب جانبی تندتری باشد، برای پایداری بیشتر سازه، آنرا به تشک های کوچکتری تقسیم می کنند. **عمر مفید پوشش گابیونی در حدود20 سال است.**

•پوشش بتنی

•در حال حاضر این پوشش تقریبا مقاومترین پوشش است. چنانچه کلیه مراحل محاسبات، اختلاط و اجرا به دقت انجام گردد، عمر مفید آن در حدود ۴۰ سال خواهد بود.

•در کانال ها معمولاً از بتن غیرمسلح استفاده می شود. به غیر از مواردی که زاویه دیوارهای جانبی کانال از زاویه ایستایی خاک بیشتر باشد، در قسمتهایی از کانال احتمال خطر آبشستگی برود و یا مواردی از این دسته، ممکن است از بتن مسلح استفاده شود.

- **روش های متداول اجرای پوشش بتنی**

- بتن ریزی در محل :در این حالت بتن باید از وزن مخصوص بالا و حالت خمیری زیادی برخوردار باشد.

- بتن ریزی با هوای فشرده (شاتکریت): در این نوع فقط از سیمان و ماسه و بدون مواد درشت دانه استفاده می شود (عیار سیمان قابل توجه است). ملات تحت هوای فشرده و با تجهیزات ویژه بر سطح بدنه کانال پاشیده می شود. این عملیات در دو نوع شاتکریت تر و شاتکریت خشک انجام می شود. از معایب این روش، پرت مصالح بالا و نیز هزینه اجرای بالاتر آن نسبت به بتن معمولی است.

•پوشش با دال های پیش ساخته :این پوشش برای پروژه های با دبی کم و مسیر طولانی اقتصادی است. مقاومت آن در برابر فشار هیدرواستاتیک جانبی و تورم خاک کمتر از انواع دیگر پوشش های بتنی است اما نگهداری و تعمیر آن ارزان و ساده است. در این حالت سعی می شود که ابعاد کانال مضربی از ابعاد دال بتنی باشد.

پوشش کانال با مواد قیری

- این نوع پوشش اصولا برای آب بندی کانال و با درجه کمتری برای افزایش مقاومت کانال در مقابل آبشستگی مورد استفاده قرار می گیرد.
- از انواع پوشش با مواد قیری می توان موارد زیر را نام برد:
- آسفالت گرم
- آسفالت سرد که در آن قیر مایع به کار می رود.
- قیر ماسه

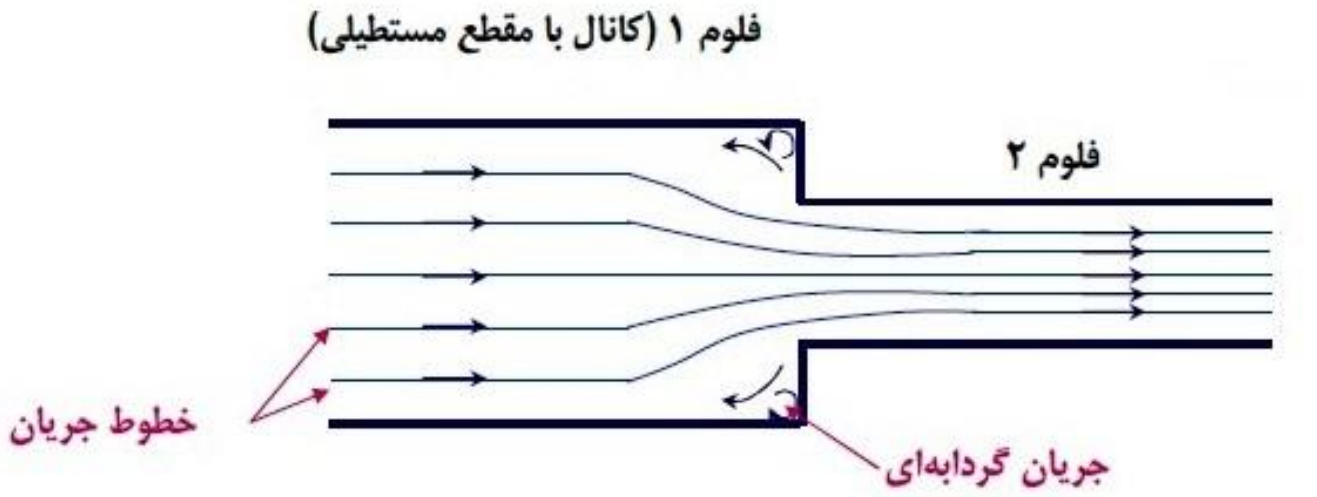
تبدیل ها

تبدیل‌ها.

سازه‌های هیدرولیکی کوتاه.

هدف از احداث تبدیل‌ها:

- **رفتار هیدرولیکی خاصی مورد انتظار باشد.**
- **به دلایلی هندسه مجرا، دارای تغییرات کاهش یا افزایش سطح مقطع ویا تغییرشکل باشد.**



وظیفه تبدیل‌ها از دید طراحی

تنها برای تغییر شکل مقطع (بدون اعمال تغییراتی در سطح مقطع).

مثال :تبدیل‌ها در محل آبگیر سدها و طرفین دریچه‌های کنترل کننده.

برای تغییر سطح مقطع.

- مثال :تبدیل‌های مسیر سیستم انتقال آب و متناسب با کاهش ظرفیت جریان.

هم برای تغییر شکل مقطع و برای تغییر سطح مقطع.

- مثال :تبدیل‌ها در انواع کالورت ها، تونل‌ها سیستم‌ها مشابه.

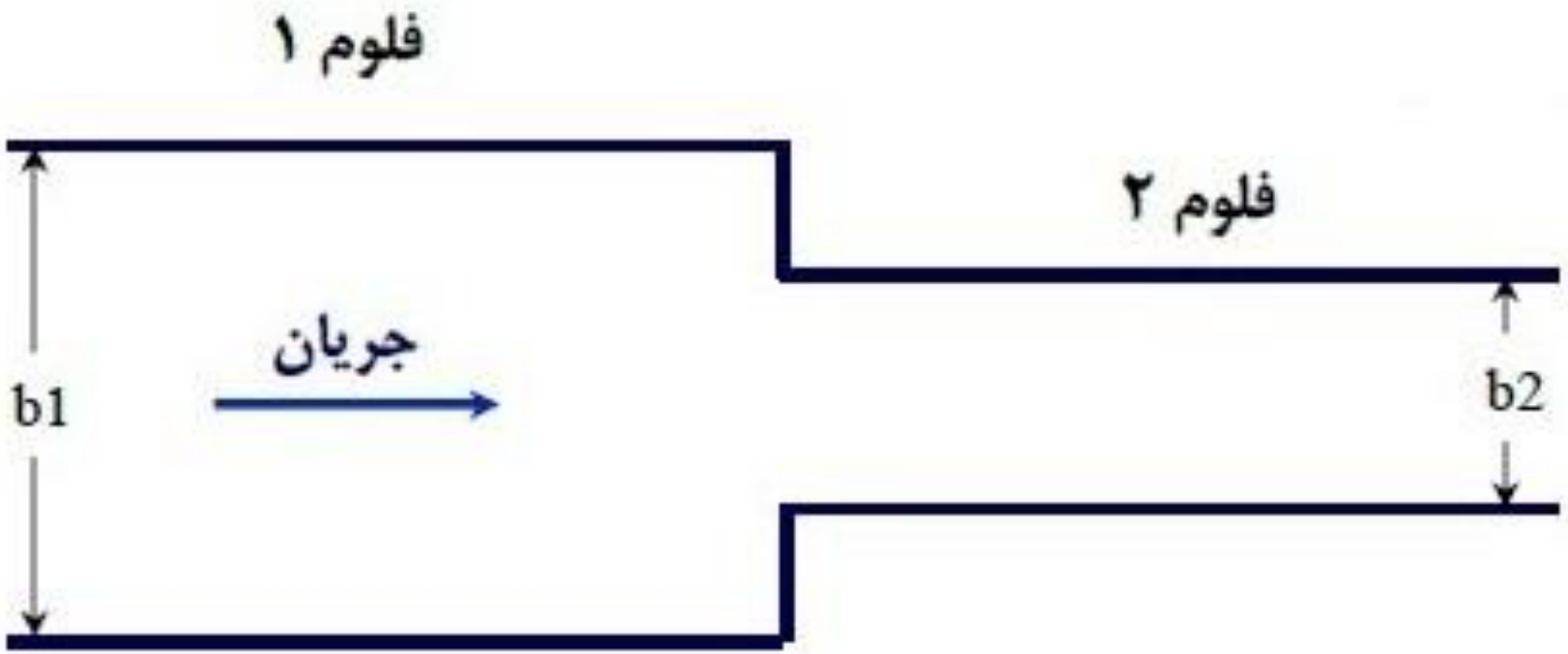
طبقه بندی بر اساس هندسه تبدیل:

- تبدیل‌های ناگهانی یا راست گوشه.
- تبدیل‌های گرد گوشه.
- تبدیل‌های خطی مستقیم.
- تبدیل‌های خط جریانی یا سهموی.

طبقه بندی بر اساس هندسه تبدیل:

تبدیل‌های ناگهانی یا راست گوشه.

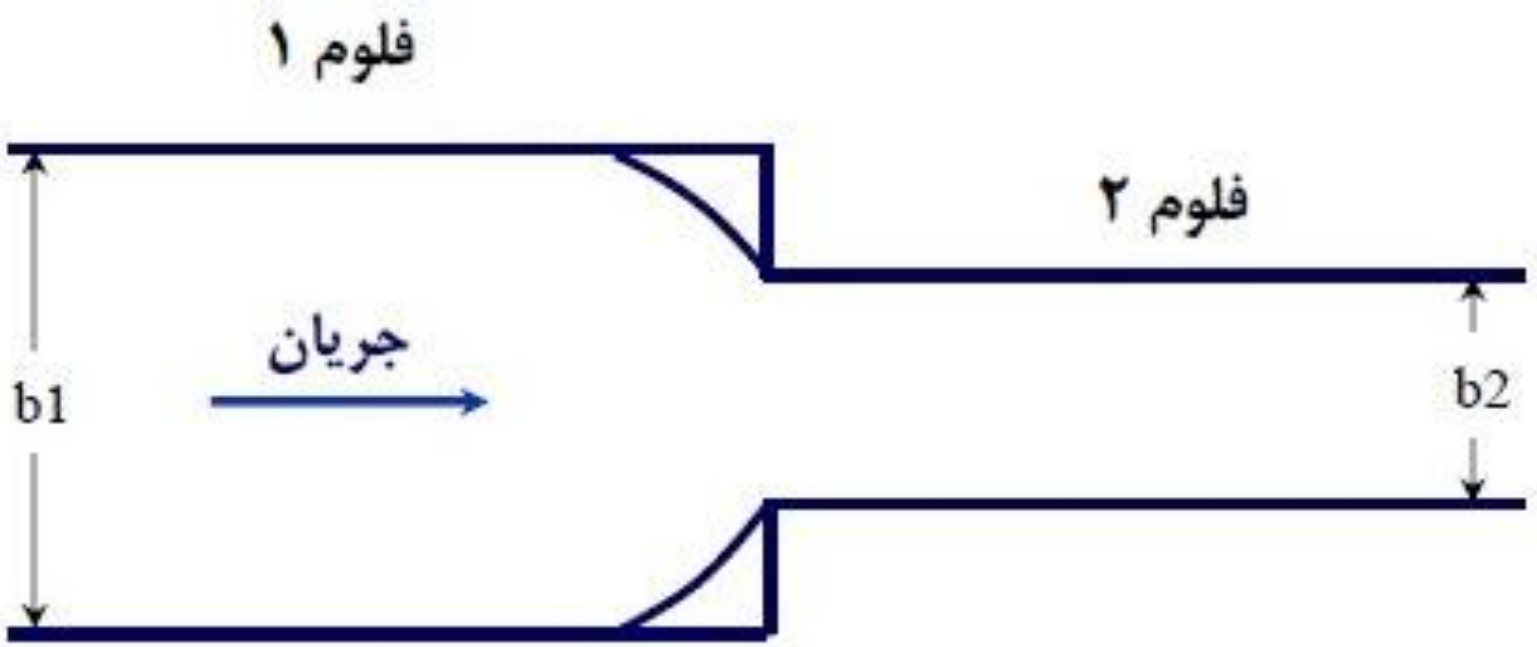
- بیشترین اتلاف انرژی.
- قابل اجرا در فضاهای محدود.
- سهولت در اجرا.
- پیشنهاد برای اجرا :اتصال دو مجرا با سطح مقطع متفاوت، با دیواره‌هایی عمود بر محورسیستم.


فلوم ۱
فلوم ۲
جریان
b1
b2

طبقه بندی بر اساس هندسه تبدیل:

تبدیل‌های گرد گوشه.

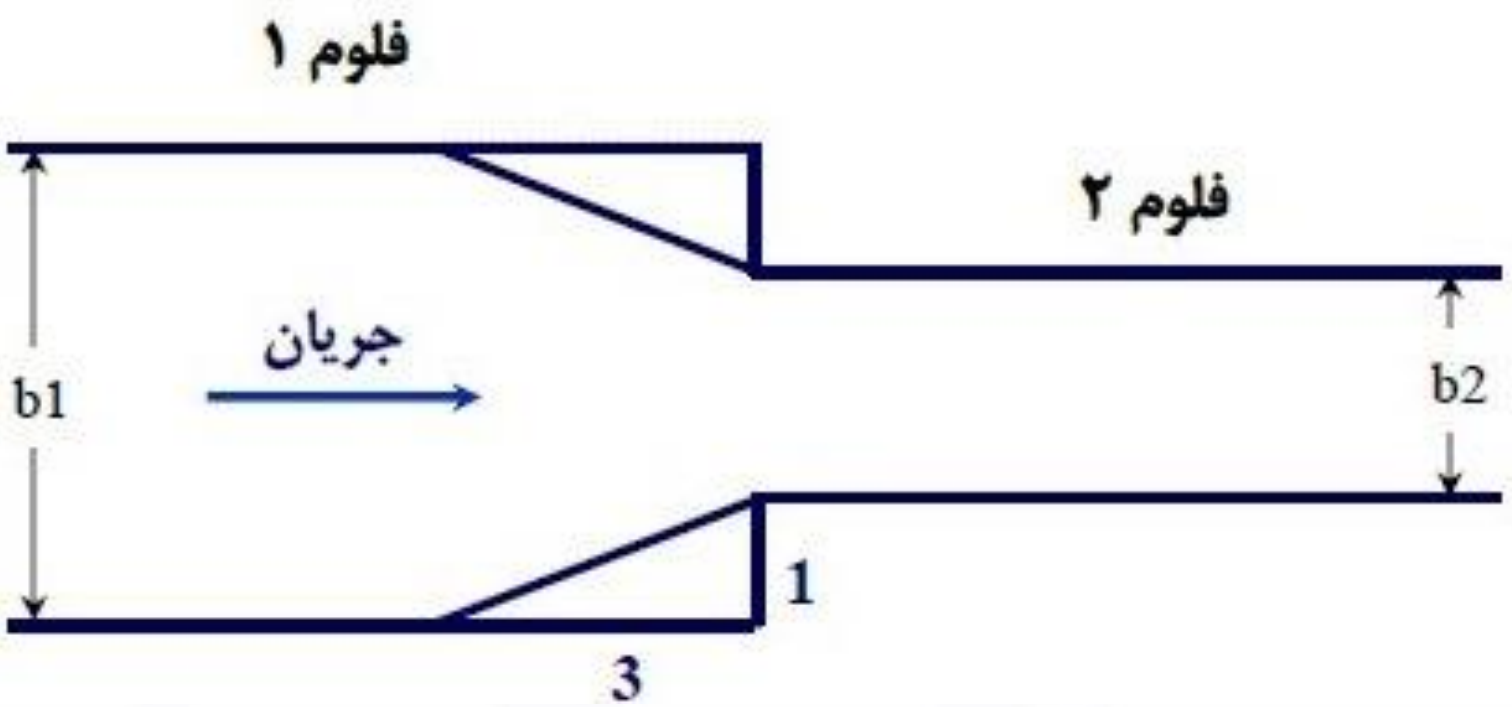
- مهم‌ترین تفاوت :حذف گوشه‌های تیز.
- ضریب تلفات انرژی کمتر.
- سهولت نسبی اجرا.
- قابل اجرا در فضاهای محدود.


فلوم ۱
فلوم ۲
جریان
b1
b2

طبقه بندی بر اساس هندسه تبدیل:

تبدیل‌های خطی مستقیم.

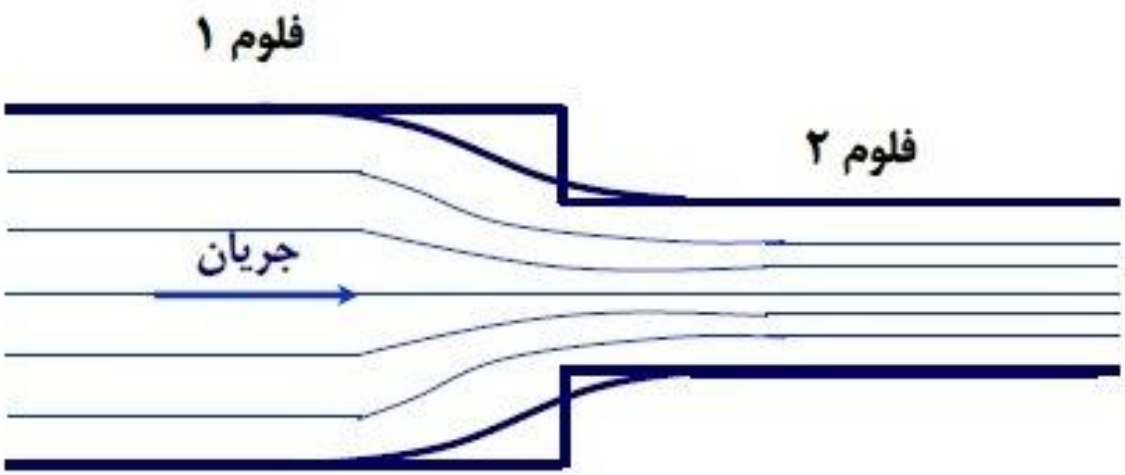
- کاربردی‌ترین نوع تبدیل در کاربری‌های صنعتی و مهندسی.
- ضریب تلفات انرژی کمتر.
- سهولت اجرا.


فلوم ۱
فلوم ۲
جریان
b1
b2
1
3

طبقه بندی بر اساس هندسه تبدیل:

تبدیل‌های خط جریانی یا سهموی.

- کم‌ترین میزان تلفات انرژی به دلیل انطباق هندسه تبدیل با چگونگی خم شدن خطوط جریان.



مقایسه انواع تبدیل‌ها به لحاظ کاربردی

- مشکلات مرتبط با تبدیل‌ها.

رسوب گذاری در زمانی که جریان حاوی مواد معلق است.

اتخاذ تمهیدات لازم برای جلوگیری از فرسایش در تبدیل‌های خاکی.

- کاربردهای انتقال آب برای اهداف متعارف مانند آب شرب ... تبدیل نوع ۱ و ۲
- کاربری‌های صنعتی در زمینه هیدرولیک روغنی و سیالات ... تبدیل نوع ۳
- پروژه‌های توسعه نیروگاه‌های برق ابی ...تبدیل نوع ۴

تعیین زاویه انحراف بین دیواره‌های جانبی و محور عمومی جریان (برای تبدیل نوع ۳ و ۴).

تعیین پروفیل تبدیل بین دو مقطع بالادست و پایین دست.

طراحی تبدیل برای جریان‌های زیربحرانی

- ✓ تعیین زاویه انحراف بین دیواره‌های جانبی و محور عمومی جریان (نوع ۳ و ٤).
- ✓ نتایج تحقیقات و مطالعات :زاویه 12/5درجه کم‌ترین تلفات انرژی برای کوتاه‌ترین تبدیل ممکن.
- ✓ زاویه بهینه 12/5 :درجه.
- ✓ در موارد نادر و به دلایل اجرایی :تغییر طول تبدیل نسبت به طول مربوط به زاویه بهینه.
- ✓ حداکثر زاویه انحراف ... تبدیل‌های واگرا ...22/5 درجه.
- ✓ حداکثر زاویه انحراف... تبدیل‌های همگرا... 30/0 درجه.

تعیین پروفیل تبدیل بین دو مقطع بالادست و پایین دست

- ✓ تعیین زاویه انحراف طرفین تبدیل (بر اساس نقطه نظرهای اجرایی اقتصادی).
- ✓ محاسبه طول تبدیل با توجه به سطح مقطع‌های بالادست و پایین دست.
  - •تبدیل خطی مستقیم ... طول تبدیل را هندسه بنا تعیین می‌کند.
- ✓ شکل دهی به هندسه تبدیل.
  - •از یکی از روش‌های پیشنهادی زیر برای شکل دهی به تبدیل‌های سهموی استفاده می‌شود.

-روش هندسه سهموی ساده.

-روش هندسه سهموی اصلاح شده.

-روش هیندز یا سهموی دوگانه.

روش هندسه سهموی ساده.

گام‌های طراحی هندسه بنا.

۱. محاسبه طول تبدیل، با رعایت زاویه بهینه 12/5

۲ .صرف نظر کردن از تلفات اصطکاکی مسیر و تغییرات عمق جریان در طول تبدیل.

۳ .استفاده از معادله زیر برای تعریف هندسه سهموی.

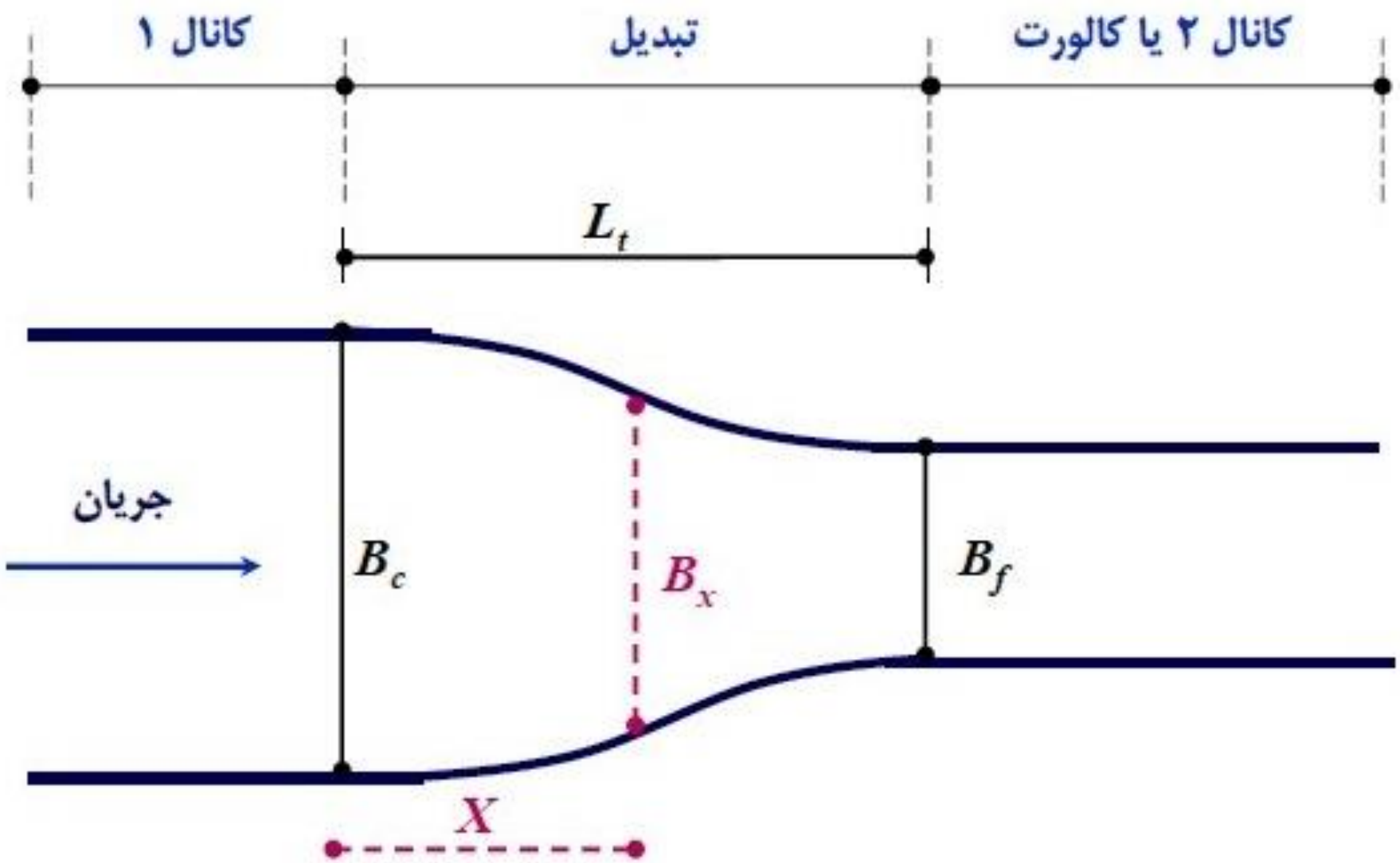
$$X = \frac{L_t \cdot B_c^{1.5}}{B_c^{1.5} - B_f^{1.5}} \left[1 - \left(\frac{B_f}{B_x} \right)^{1.5} \right]$$

Lt: طول تبدیل محاسبه شده ***Bf***: پهنای فلوم یا کالورت

Bc: پهنای مؤثر مجرای بالادست در تبدیل همگرا و پایین دست در تبدیل واگرا.

X :*فاصله* هر نقطه مفروض از تبدیل.

Bx:عرض کف تبدیل در فاصله X


کانال ۱
تبدیل
کانال ۲ یا کالورت
L_t
جریان
B_c
B_x
B_f
X

روش هندسه سهموی اصلاح شده

✓ گام‌های طراحی هندسه بنا.

۱ .سه گام اول روش قبلی انجام می‌شود.

۲ .استفاده از معادله زیر برای تعریف هندسه سهموی.

۳ .پارامترها مشابه روش قبل هستند.

۴ .اعتبار این روش، محدود به مواردی است که میزان تغییرات سطح مقطع کمتر از 50% باشد.

$$B_x = \frac{B_c \cdot B_f \cdot L_t}{L_t \cdot B_c - X\left(B_c - B_f\right)}$$

طراحی تبدیل برای جریان‌های فوق بحرانی

- ✓ به دلیل فوق بحرانی بودن جریان عدد فرود جریان مورد توجه است.
- ✓ طراحی تبدیل فوق بحرانی با هندسه‌ای خطی.
- ✓ محاسبه زاویه دیواره‌های طرفین با محور عمومی مجرا.

$$\tan\alpha = \frac{1}{m(Fr)_{trs}}$$

$$(Fr)_{trs} = \frac{Fr_1 + Fr_2}{2}$$

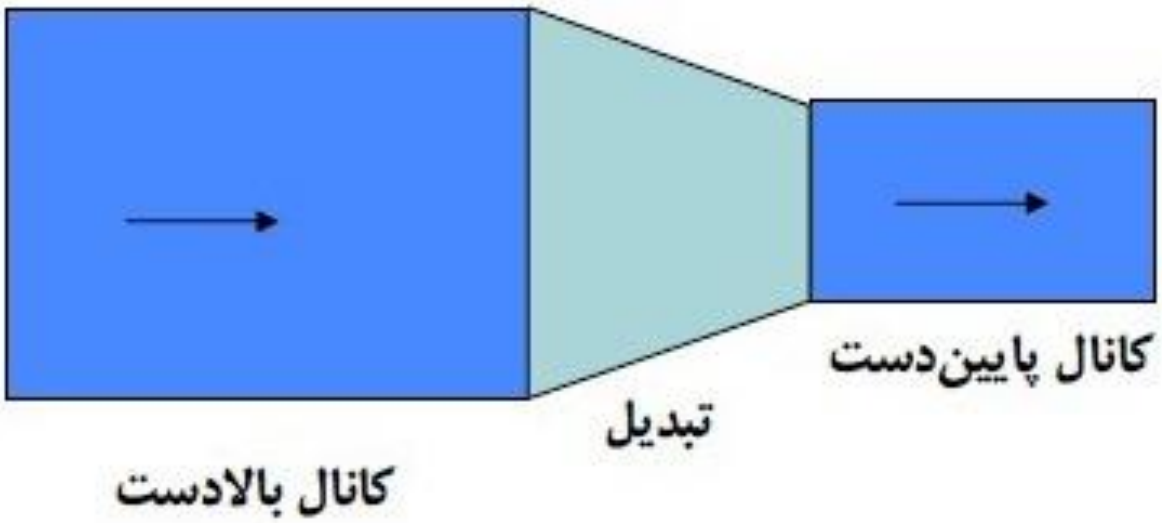
- α: زاویه دیواره‌های طرفین با محور عمومی مجرا.
- M: ضریبی در حدود ۳ تا ۳/۳
- $(Fr)_{trs}$: برآوردی از عدد فرود جریان در تبدیل.
- Fr_1: عدد فرود جریان در ابتدای تبدیل.
- Fr_2: عدد فرود جریان در انتهای تبدیل.

پروژه کامپیوتری طراحی تبدیل

تبدیلی بین دو کانال ذوزنقه‌ای طراحی کنید به طوری که عرض کف کانال بالادست 5.5mو عرض کف کانال پایین دست 2.5m است. اطلاعات زیر در اختیار است:

V_{up}=1.2m/s V_{down}=2.5 m/s m=2 Q=10 m^3/s

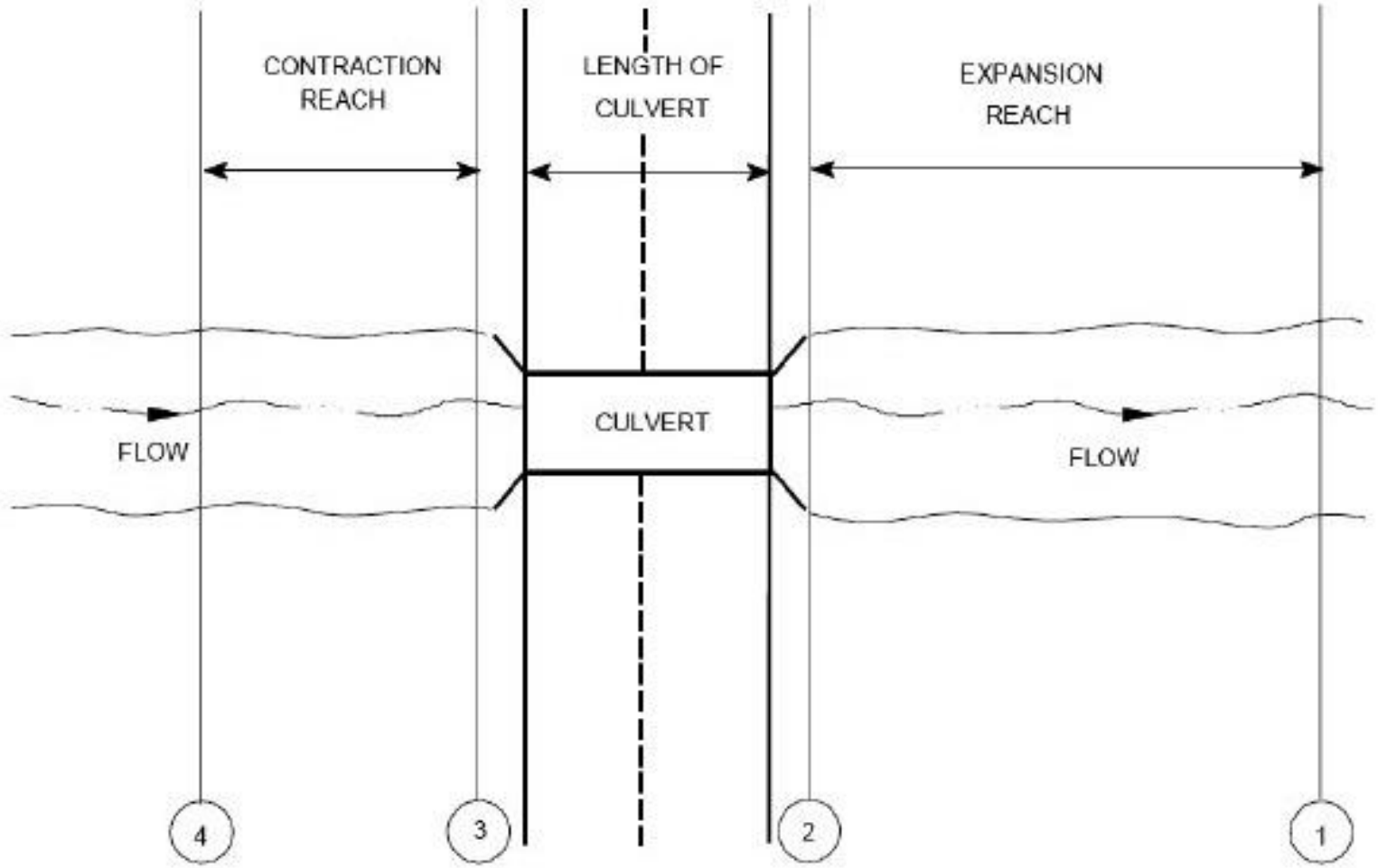
حل به دو روش سهموی ساده و سهموی اصلاح شده با استفاده از کامپیوتر.



زیر گذر (کالورت) Culvert

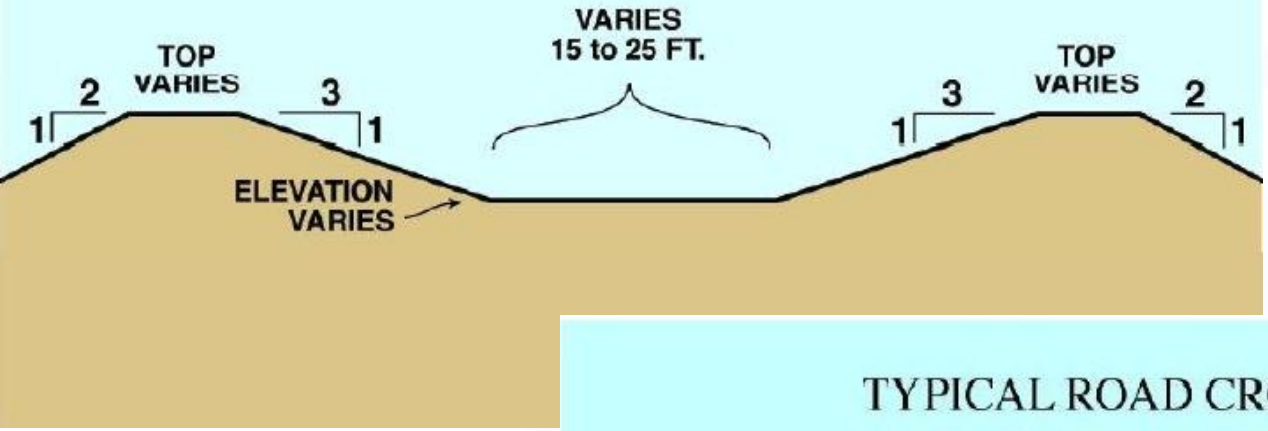
زیرگذر(کالورت) *Culvert*

- زیرگذر سازه ای است برای انتقال آب از زیر جاده، راه آهن یا از زیر کانال های دیگر
- این سازه ممکن است به صورت مجرا با جریان پر یا به صورت مجرا با جریان روباز طراحی شود.
- نقطه اشتراک طراحی در انواع مختلف زیرگذر : یکنواختی سطح مقطع در تمام طول آن
- جنس این سازه می تواند فلزی، بتنی و یا چوبی(سازه های سنتی)باشد

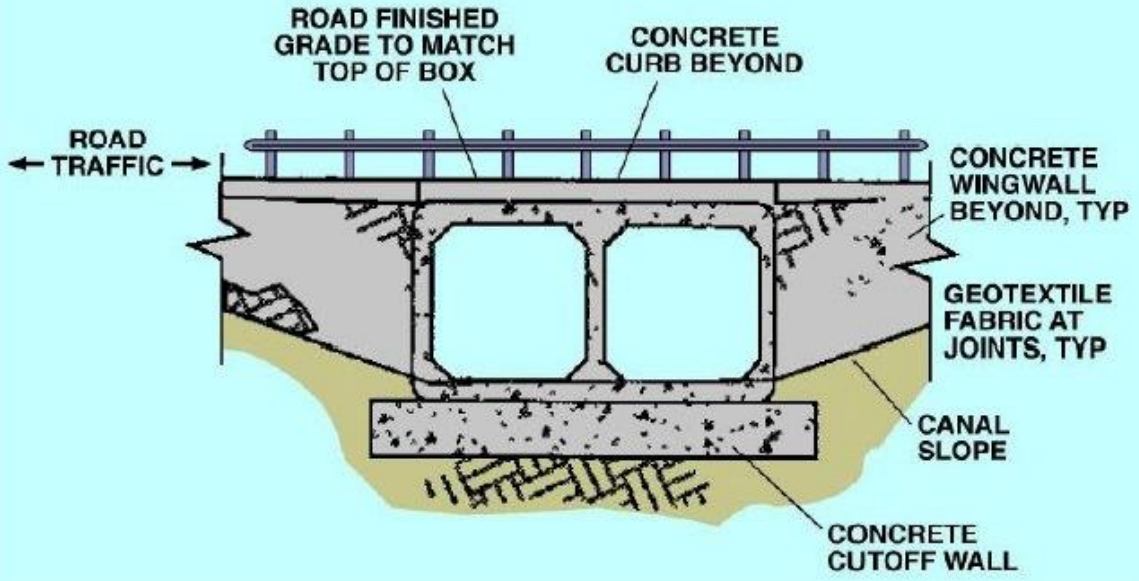


جانمایی مقطع عرضی کالورت

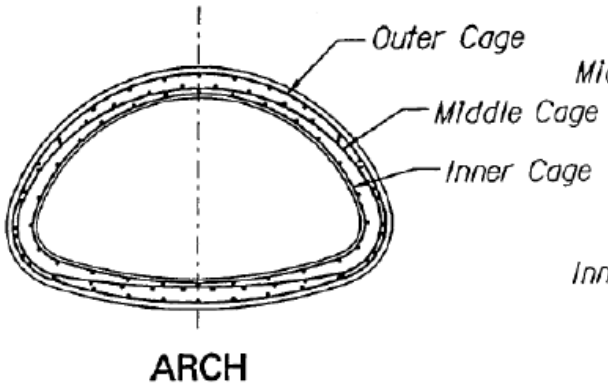
TYPICAL CHANNEL CROSS-SECTION



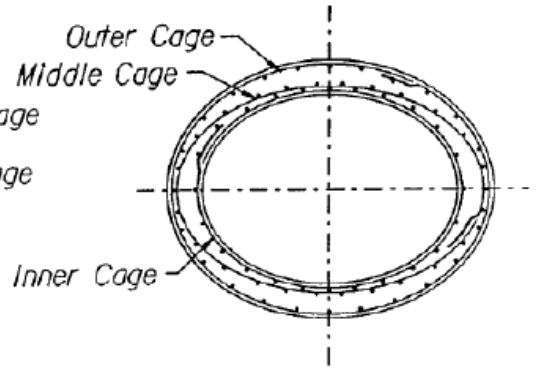
TYPICAL ROAD CROSSING



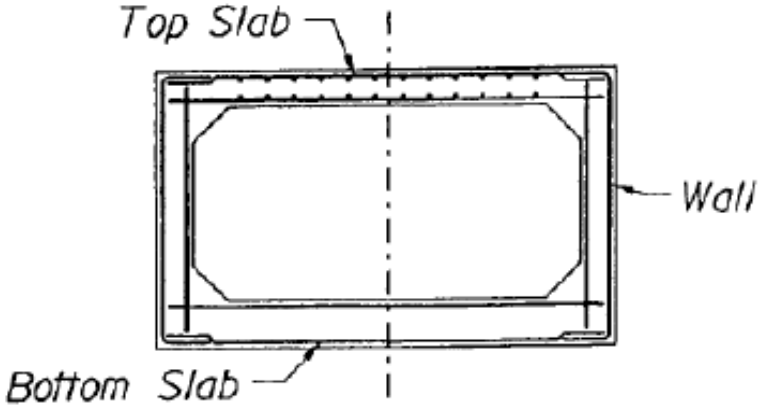
اشکال مختلف کالورت



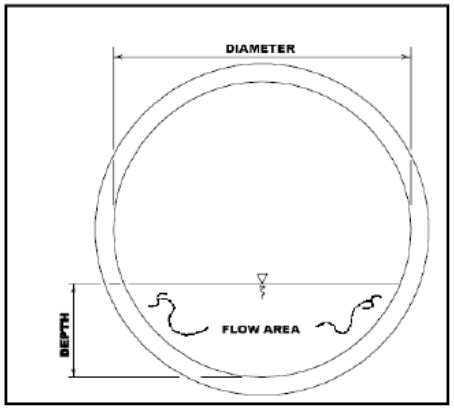
ARCH

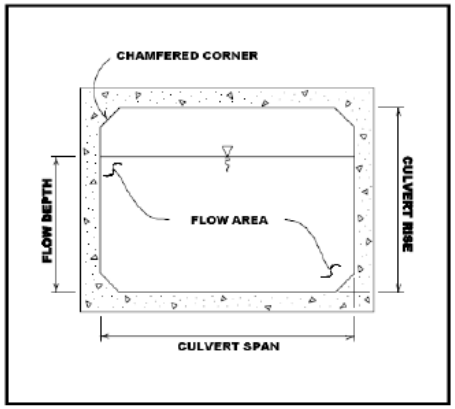


HORIZONTAL ELLIPTICAL



BOX





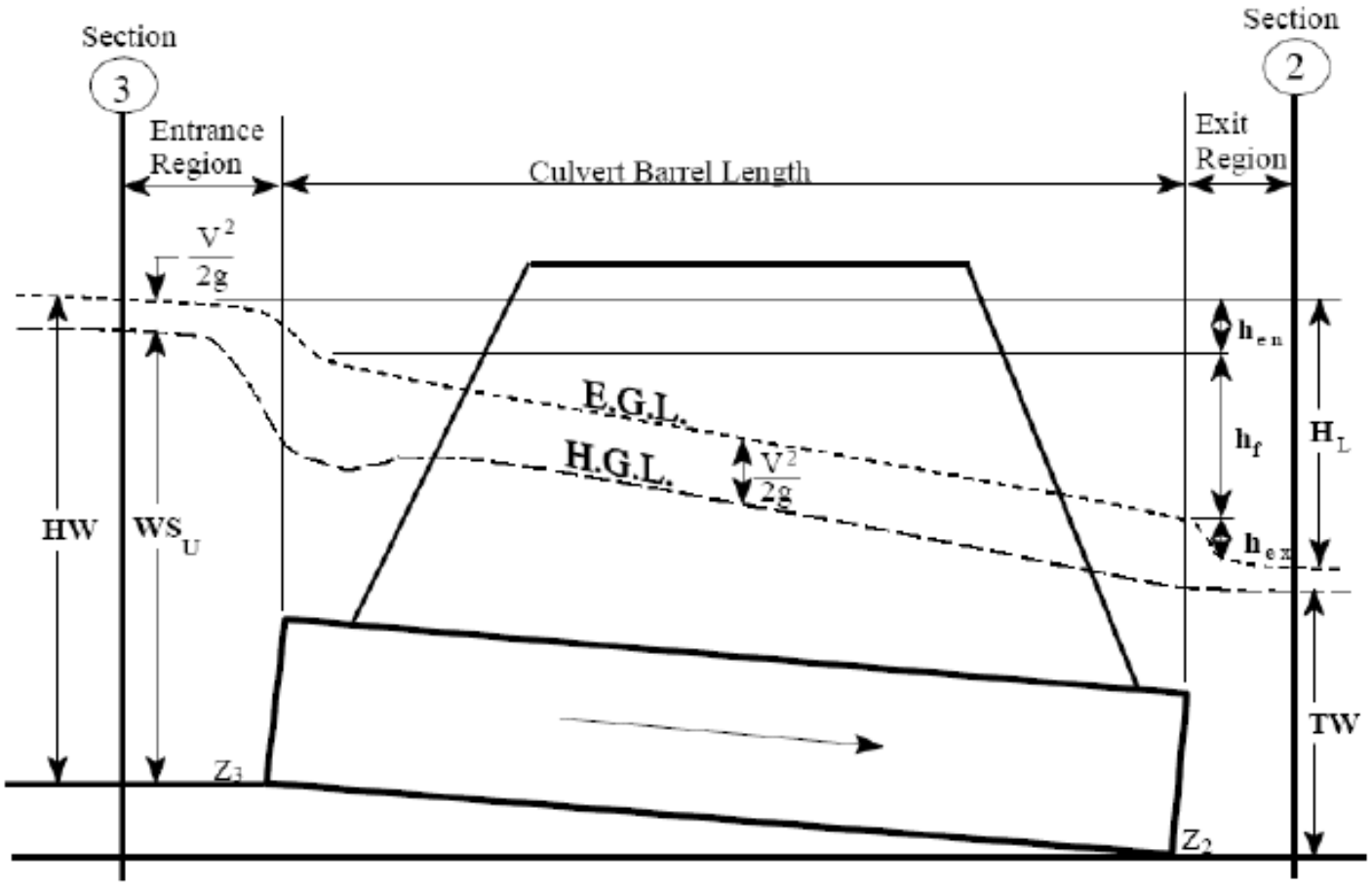
تراز سطح آب در مقطع عرضی کالورت با مقطع لوله ای و جعبه ای

بارهای طراحی

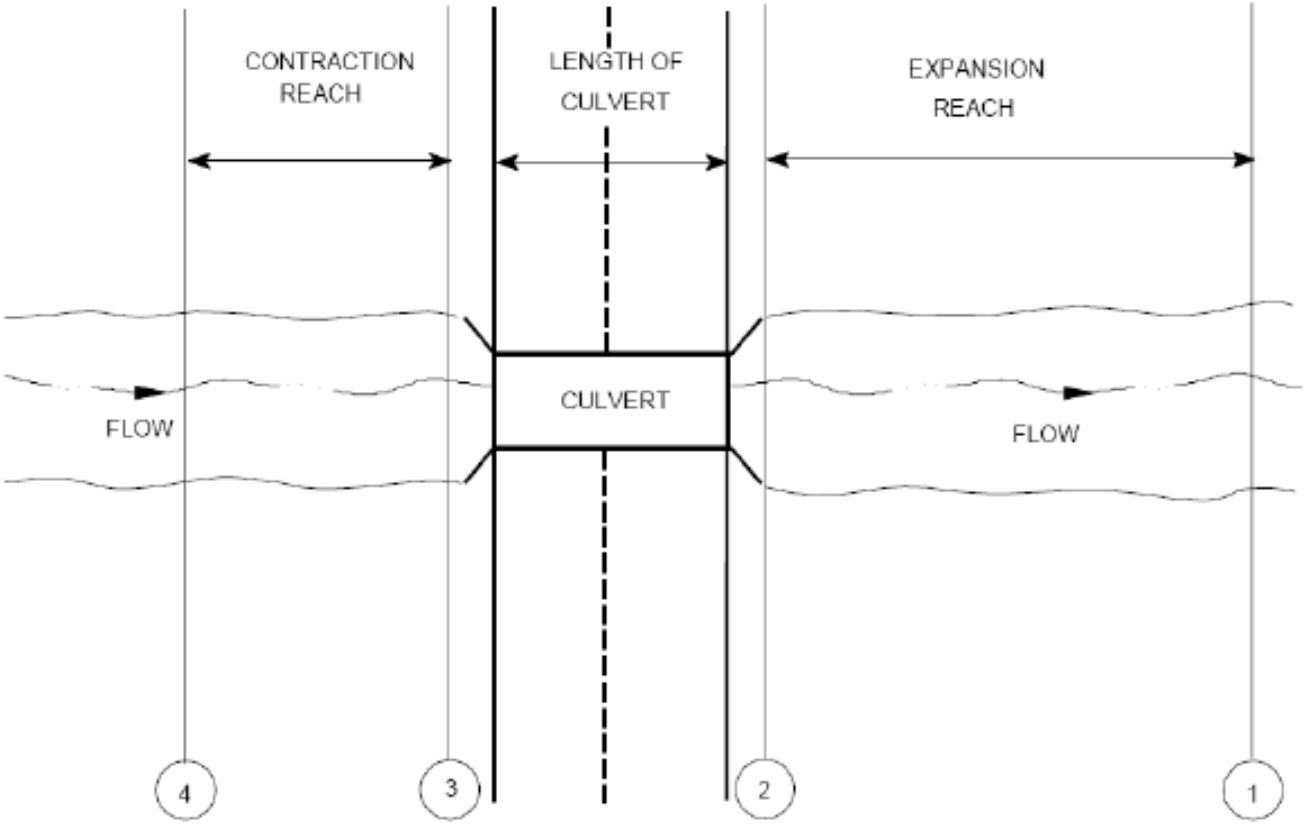
- فشار و نیروی وارده از طرف آب جریان یافته در کالورت
- بارهای مرده و زنده ناشی از احداث جاده و راه آهن

نکات فنی طراحی

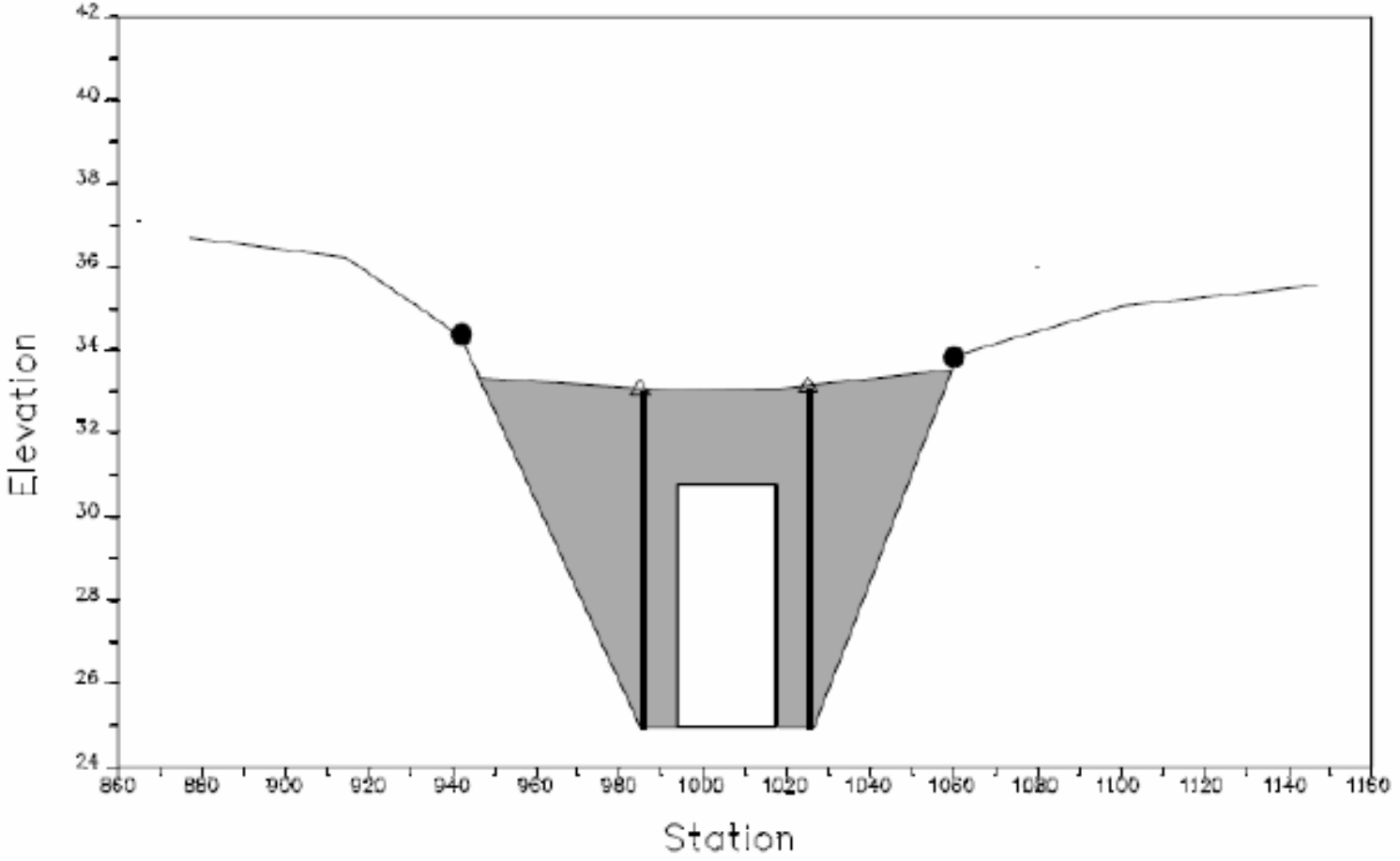
- تخمین حداکثر سیلاب طراحی
- عملکرد هیدرولیکی کالورت
- هزینه های کلی ساختمانی و نگهداری



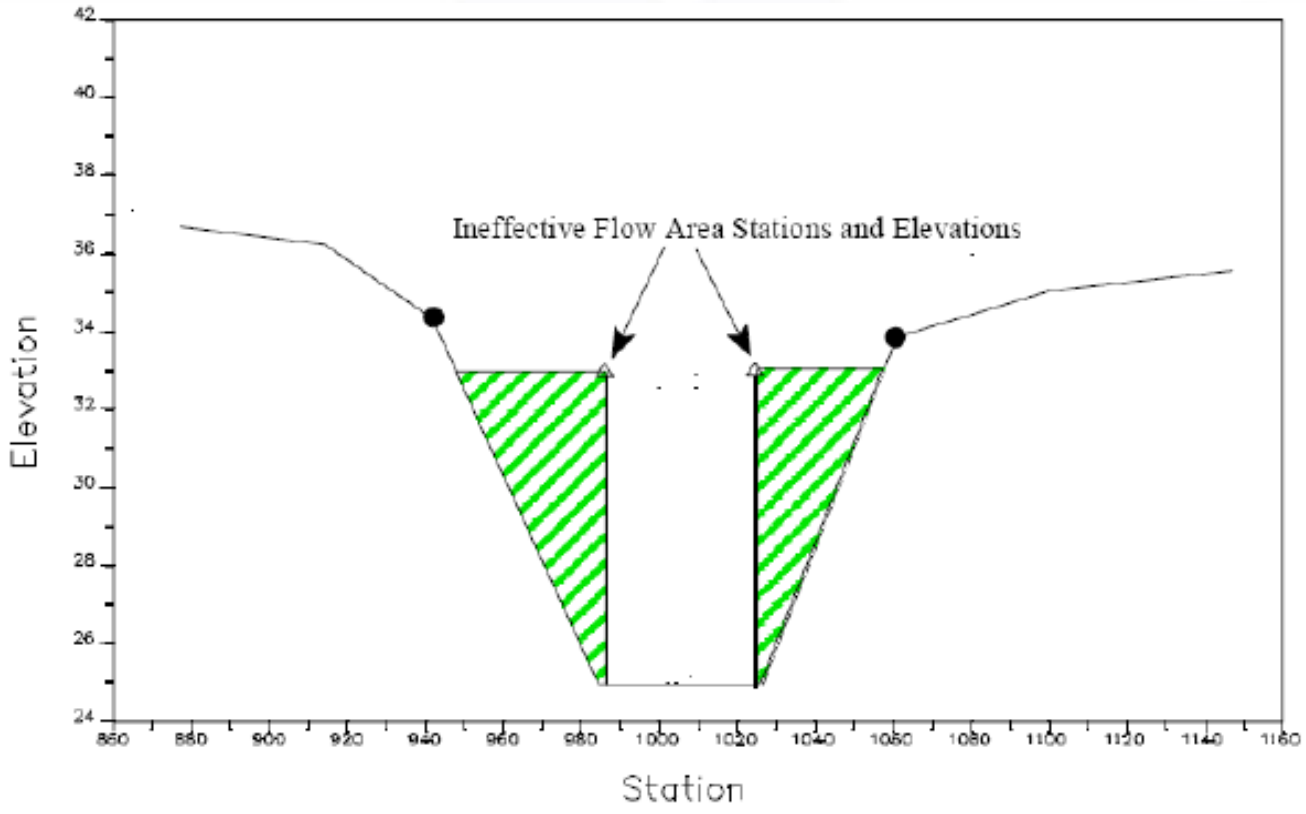
جریان داخل کانال با خط شیب هیدرولیکی و انرژی



جانمایی مقطع عرضی کالورت



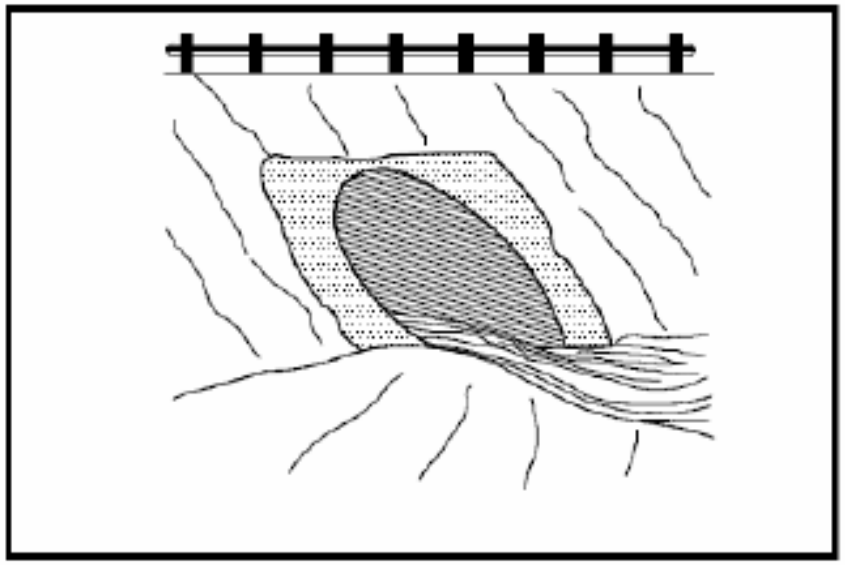
سطح مقطع قبل از کالورت در مدل هیدرولیکی *HecRas*



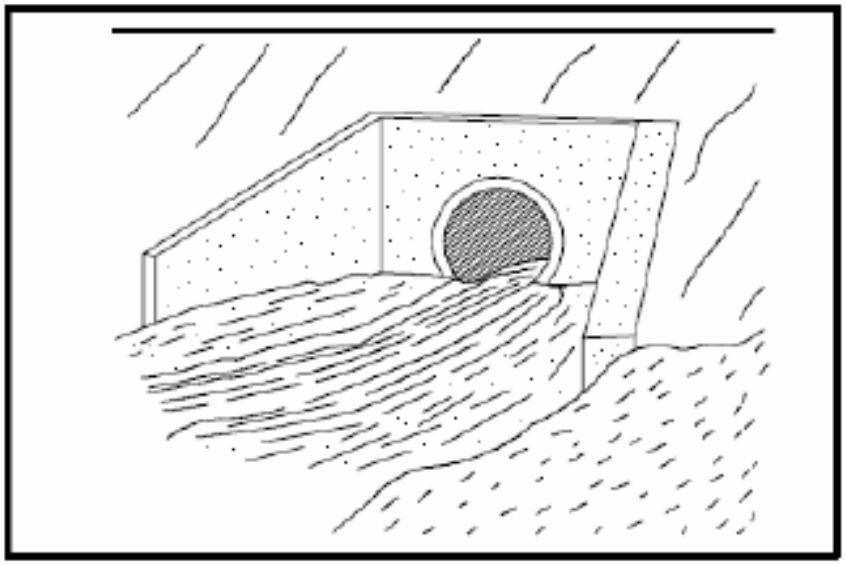
سطح مقطع بعد از کالورت در مدل هیدرولیکی Hecras

انواع ورودی کالورت

هماهنگ با شیب خاکریز

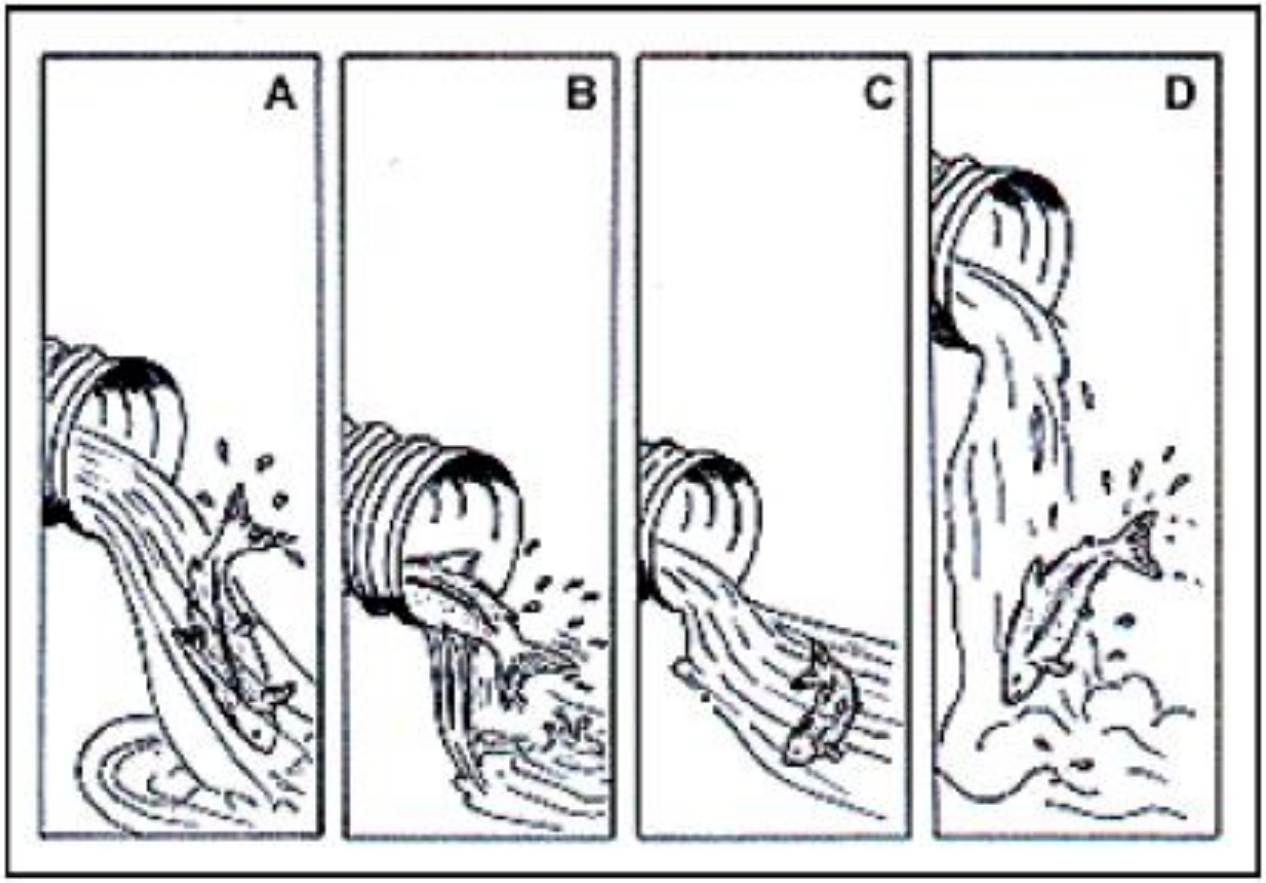


همراه با دیواره بالاسری و دیواره‌های کناره



کالورت در ارتفاع پایینی احداث شده، در اثر شاخه‌ها مسدود شده و هزینه نگه‌داری بالا می‌رود.

کالورت در ارتفاع بالایی احداث شده، در پایین‌دست آن حفره آب و آبشستگی ایجاد می‌شود.



احداث کالورت ها می تواند باعث مسدود شدن مسیر ماهی ها شود

- سرعت آب بالا است (A)
- آب داخل کالورت کم عمق می شود (B) .
- استخر پایین دست کالورت محلی برای تجمع ماهی ها می شود (C).
- ارتفاع پرش بسیار بالا است (D).

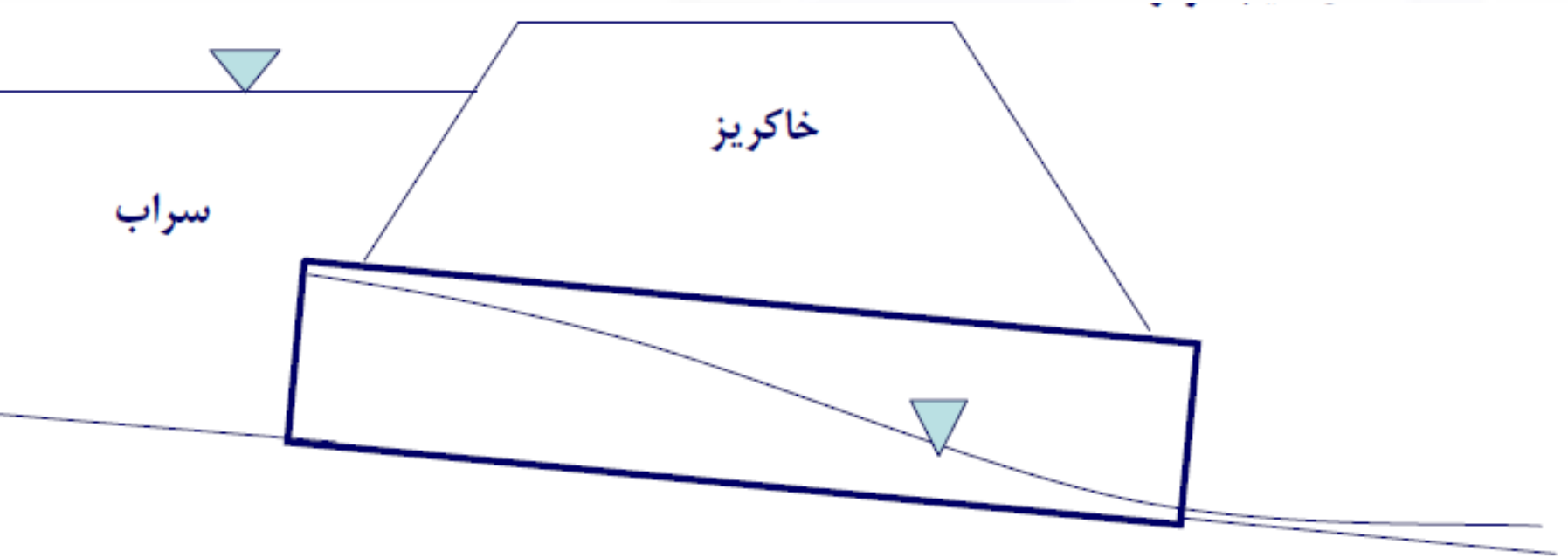
وضعیت جریان در زیرگذر

- وضعیت کنترل ورودی (*Inlet Control*)
- وضعیت کنترل خروجی (*Outlet Control*)

کنترل ورودی

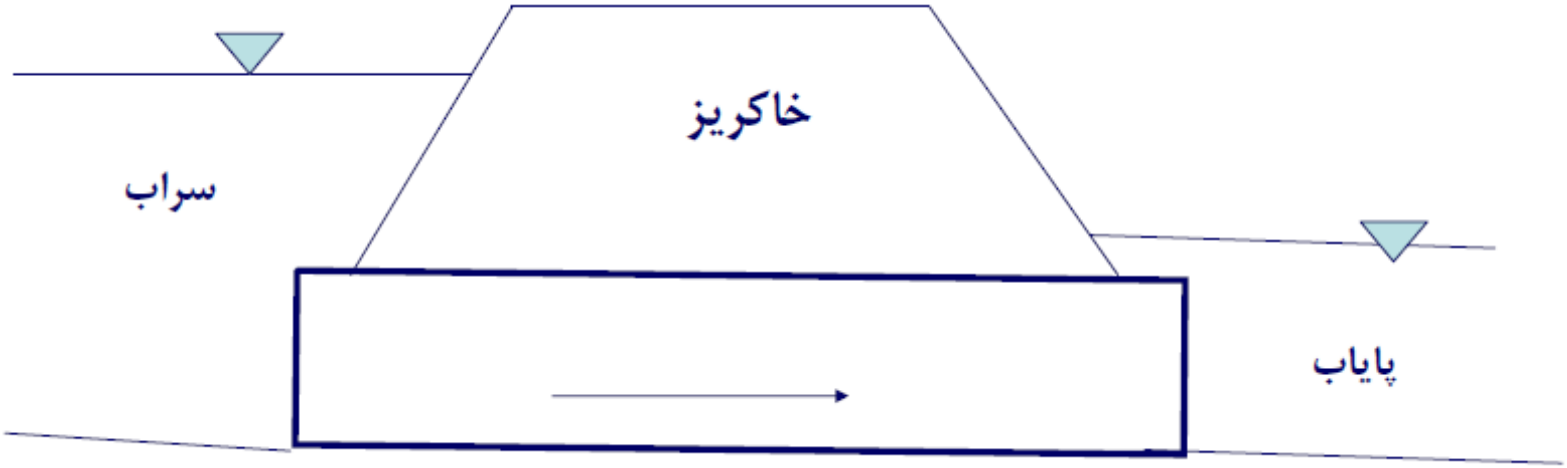
شرایط سطح آب در پایین دست، دبی جریان، شیب کف مجرا و عمق آب در بالا دست به نحوی است که سطح آب در مجرا به سقف نمی رسد و عمق بحرانی در محل ورودی تشکیل می گردد. در این حالت پایاب بر سراب بی اثر است.

در مواقعی رخ می دهد که سطح کف کانال شیب دارتر است.


خاکریز
سراب

کنترل خروجی

تمام شرایط جریان به نحوی است که زیرگذر به صورت پر عمل می کند. در این حالت پایاب بر سراب تأثیر می گذارد. کف کالورت از شیب کمتری برخوردار است.



جریان با کنترل در بخش ورودی زیرگذر

✓ عوامل کنترل کننده ظرفیت انتقال آبرو

- عمق آب
- شکل هندسی بخش ورودی (سطح و شکل مقطع)
- نوع لبه بخش ورودی

✓عوامل غیرمؤثر در ظرفیت انتقال آبرو

- زبری
- طول زیر گذر
- رقوم سطح آب در پایین دست زیرگذر

جریان با کنترل در بخش خروجی زیرگذر

در این حالت ممکن است زیرگذر در تمام طول و یا بخشی از آن به طور کاملاً پر و نیمه پرعمل نماید.

✓ نکات طراحی هیدرولیکی زیرگذر در کانال های آبیاری

- ✓ بسته به اینکه زیرگذر به منظور کانال آبیاری و یا کانال زهکش احداث شود، طراحی آنها با هم متفاوت است.
  - •برای کانال های آبیاری حداکثر سرعت آب در مجرای زیر گذر1.5m/s
  - •در کانال های زهکشی حداکثر سرعت آب (کنترل ورودی)

    3.5 m/s
  - •در کانال های زهکشی حداکثر سرعت آب (کنترل خروجی)3.0m/s
- ✓ برای جلوگیری از ورود آشغال و راحتی عبور مواد معلق از مجرا :حداقل قطر یا حداقل ارتفاع مفید مجرا 0.6m

نکات طراحی هیدرولیکی زیرگذر در کانال های آبیاری

- ✓ تعیین حداکثر سرعت مجاز بر اساس جنس تبدیل ورودی
  - حداکثر سرعت مجاز برای تبدیل بتنی 1.50 m/s - 5 ft/s
  - حداکثر سرعت مجاز برای تبدیل خاکی 1.05m/s - 3.5 ft/s
- ✓ محاسبه قطر لوله با استفاده از معادله پیوستگی

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q}{V}} = 1.13\sqrt{\frac{Q}{V}}$$

- پس از محاسبه قطر، سرعت مجرا محاسبه شده و با سرعت مجاز کنترل می شود.

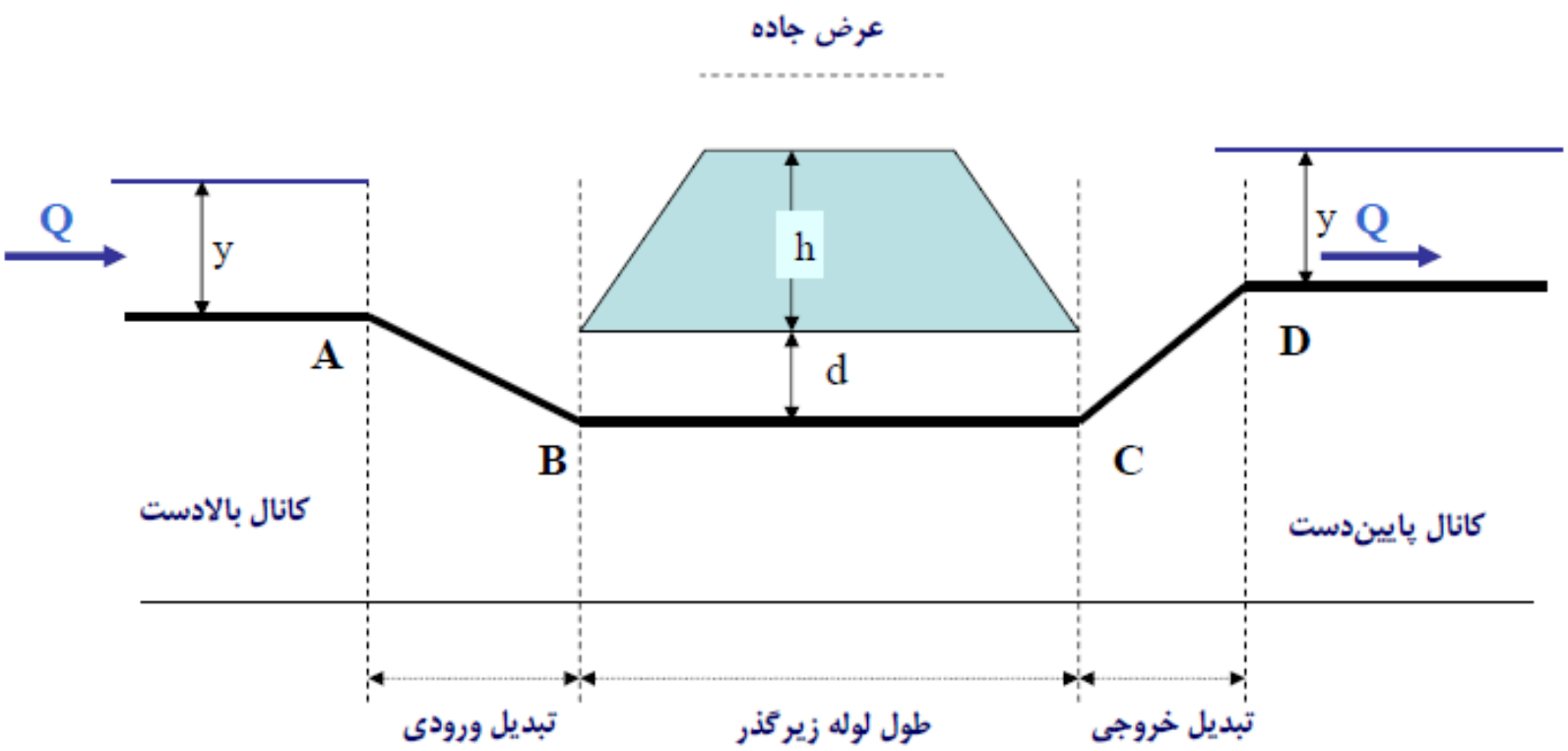
درجه بندی و انتخاب نوع لوله

- ✓ **حداکثر ارتفاع خاکریز**
  - لوله کلاس A: 1.5 m (5 ft)
  - لوله کلاس B: 3.0 m (10 ft)
  - لوله کلاس C: 4.5 m (15 ft)
  - لوله کلاس D: 6.0 m (20 ft)
- ✓ اندیس کنار حروف معرف حداکثر فشار داخلی(برحسب فوت) که لوله می تواند تحمل کند. این اعداد ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ یا ۱۲۵

درجه بندی و انتخاب نوع لوله

- ✓ **مثال :** لوله کلاس C_{50} : لوله حداکثر فشار داخلی ۵۰ فوت و حداکثر ارتفاع معادل خاکریز ۱۵ فوت را تحمل می نماید.

طراحی زیر گذر



طراحی زیرگذر

- **روند طراحی زیرگذر**
- ۱ .تعیین مشخصات هیدرولیکی و فیزیکی کانال، براساس رابطه مانینگ (Tو Y)
- ۲ .انتخاب یک سرعت مناسب برای جریان لوله (بر اساس جنس تبدیل)
- ۳ .تعیین قطر لوله (d) و محاسبه مشخصات هیدرولیکی آن (براساس رابطه مانینگ و با فرض لوله پر)

$$Q = V_p . A = V_p(\frac{\pi d^2}{4})$$

- تعدیل قطرهای نامتعارف به قطرهای بازاری
- محاسبه V_p، h_{vp} و h_s

$$h_{vp} = \frac{V_p^2}{4}$$

روند طراحی زیرگذر

تعیین موقعیت ورودی لوله (نقطه B) بر اساس رعایت حداقل پوشش روی لوله $EL_B = EL_E - (h+d)$

- محاسبه طول تبدیل $(L_t = 3 * d)$
- کنترل شیب کف تبدیل (1:4)

$$S_p = \frac{EL_A - EL_B}{L_t} \leq \frac{1}{4}$$

- کنترل بازشدگی (a) (25º)

$$Tan \propto = \frac{T-d}{2 * L_t}$$

روند طراحی زیرگذر

- تعیین موقعیت انتهای لوله (نقطهC)

$$EL_c = EL_B - S_p . L_p$$

- کنترل شیب تبدیل خروجی (۱:۶)

$$S_o = \frac{EL_D - EL_C}{2L_t} \leq \frac{1}{6}$$

روند طراحی زیرگذر

- ✓کنترل جریان یعنی اطمینان از برقراری مطمئن جریان با مشخصات مراحل قبل، جهت مقایسه کل افت سازه با انرژی موجود. (اگر انرژی موجود بیش از افت کل سازه بود، طراحی صحیح است)
- انرژی موجود = اختلاف تراز سطح آب در بالادست و پایین دست

$$\Delta H = (EL_A + Y) - (EL_D + Y)$$

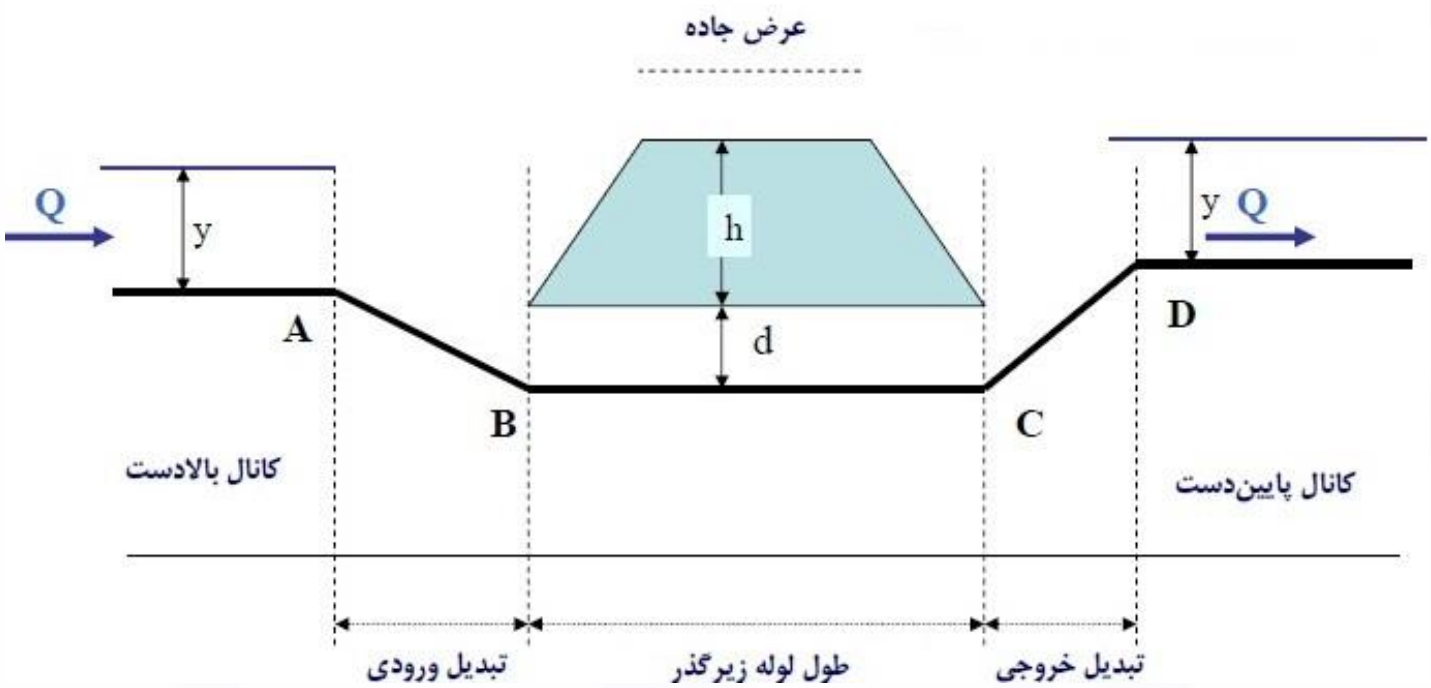
روند طراحی زیرگذر

- مجموع افت ها = افت تبدیل ورودی + افت تبدیل خروجی +افت اصطکاکی لوله

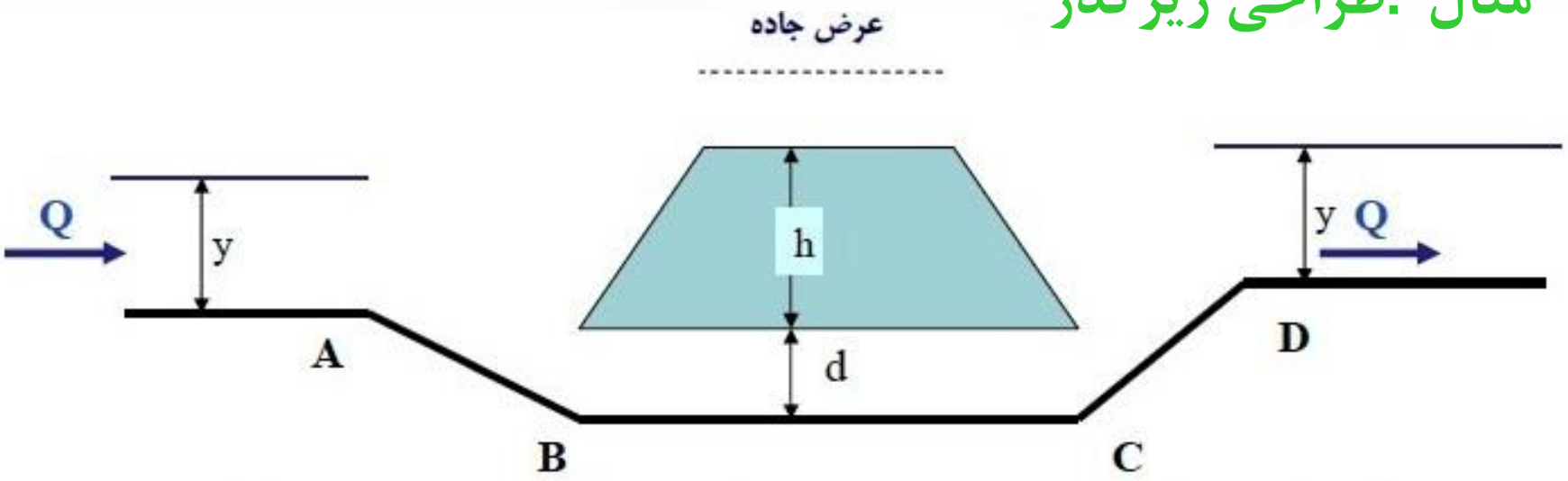
$$\Sigma H = h_i + h_o + h_f$$

$$h_i = K_i \frac{V_f^2}{2g} \qquad h_o = K_o \frac{V_f^2}{2g} \qquad h_f = S_f \cdot L_P$$

مثال :طراحی زیرگذر



مثال :طراحی زیرگذر



ELA = 110.4 m

ELD = 110.0 m

ELE = 112.0 m

b = 2.0 m

m = 1.5

n = 0.017

S = 0.002

$Q = 2.34\ m^3/s$

$W_R = 10\ m$

مثال :طراحی زیرگذر

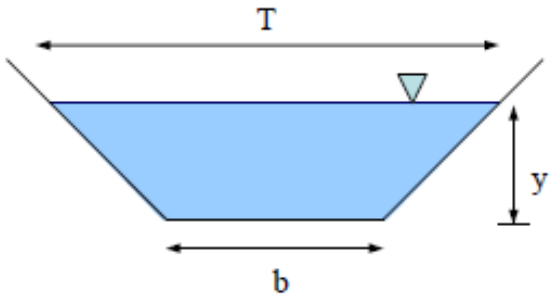
مشخصات هیدرولیکی کانال بالادست :تئوری مانینگ

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$A = (b + my)y \qquad P = b + 2y\sqrt{1+m^2} \qquad R = \frac{A}{P} \qquad T = b + 2my$$

$$2.34 = \frac{1}{0.017}(2+1.5d)d\left[\frac{(2+1.5d)d}{2+2d\sqrt{1+1.5^2}}\right]^{2/3}\sqrt{0.002}$$

$$\Rightarrow \boxed{y = 1.05\ m}$$



$$T = 2 + 2\times 1.5 \times 1.05 = 5.15\ m$$

مثال :طراحی زیرگذر

تعیین مشخصات لوله زیرگذر(S_f ،h_{VP} ،V_p ،D_p)

$$Q = A \cdot V_p \qquad A_P = \frac{\pi D^2}{4}$$

نوع تبدیل: خاکی

$$\rightarrow \quad V_P = 3.5 \ ft/s = 1.05 \ m/s$$

$$2.34 = \frac{3.14 \times D_p^2}{4} \times 1.05 \quad \Rightarrow \quad D_P = 1.67 \ m$$

$$V_P = \frac{2.34}{(\pi \times 2^2)/4} = 0.745 \ m/s$$

$$NamedDiameter \quad \Rightarrow \quad D_P = 2 \ m$$

$$h_{VP} = \frac{V_P^2}{2g} = \frac{(0.745)^2}{2 \times 9.81} = 0.03 \ m$$

$$n_p = 0.013$$

$$S_f = \left(\frac{0.013 \times 0.745}{(0.5)^{2/3}} \right)^2 = 0.00024$$

$$R = \frac{D}{4}$$

مثال :طراحی زیرگذر

کنترل میزان بازشدگی تبدیل

$$L_t = 3D \qquad L_t = 3 \times 2 = 6m$$

$$\tan\alpha = \frac{T - D}{2L_t} \qquad \tan\alpha = \frac{5.15 - 2}{2 \times 6} \qquad \alpha = 15^\circ < 25^\circ$$

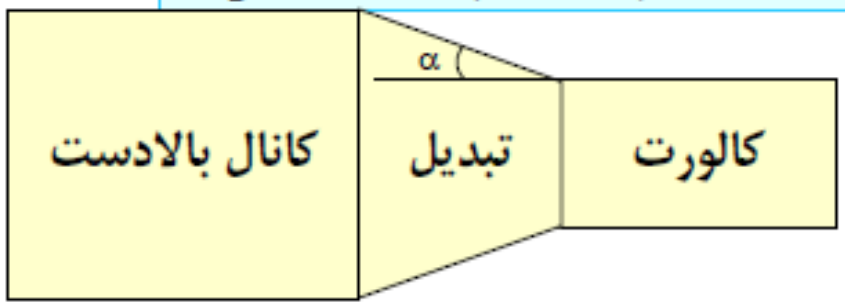
مثال :طراحی زیرگذر

تعیین موقعیت ابتدای لوله کالورت

ارتفاع خاکریز روی جاده فرعی $H = 2\,ft = 0.61m$

$EL_B = EL_E - (D + H)$

$EL_B = 112.0 - (2 + 0.61) = 109.39m$



مثال :طراحی زیرگذر

کنترل شیب کف تبدیل ورودی

$$S_t = \frac{EL_A - EL_B}{L_t} = \frac{110.4 - 109.39}{6} = 0.1675 < \frac{1}{4} = 0.25$$

OK

کنترل حداقل استغراق

$$h_s = 1.5 h_{VP}$$

$$h_s = (EL_A + y) - (EL_B + D)$$

$$h_s = (110.4 + 1.05) - (109.39 + 2) = 0.06 > 1.5(0.03) = 0.045$$

OK

مثال :طراحی زیرگذر

تعیین موقعیت انتهایی لوله(تئوری رعایت حداقل شیب طولی لوله – رسوبگذاری)

$$S_P = 0.005$$

$$L_P = W_R + 2mH = 10 + 2 \times 1.5 \times 0.61 = 11.83m$$

$$EL_C = EL_B - S_P L_P = 109.39 - 0.005(11.83) = 109.33m$$

مثال :طراحی زیر گذر

کنترل شیب کف تبدیل خروجی

$$S_t = \frac{EL_D - EL_C}{L_t} = \frac{110 - 109.33}{6} = 0.1117 < \frac{1}{6} = 0.1667$$

OK

کنترل جریان : تئوری مقایسه انرژی موجود با مجموع افت های سازه

مثال :طراحی زیرگذر

انرژی موجود $\Delta H = (EL_A + y) - (EL_D + y) = 0.4m$

مجموع افت‌های سازه $\sum h_L = h_i + h_o + h_f$

$K_i = 0.5$

$K_o = 1$

$h_i = K_i \cdot h_{VP}$

$h_o = K_o \cdot h_{VP}$

$h_f = S_f \cdot L_P$

$\Delta H = 0.4m > \sum h_L = 0.05m$ OK

- شیب شکن (Drop)

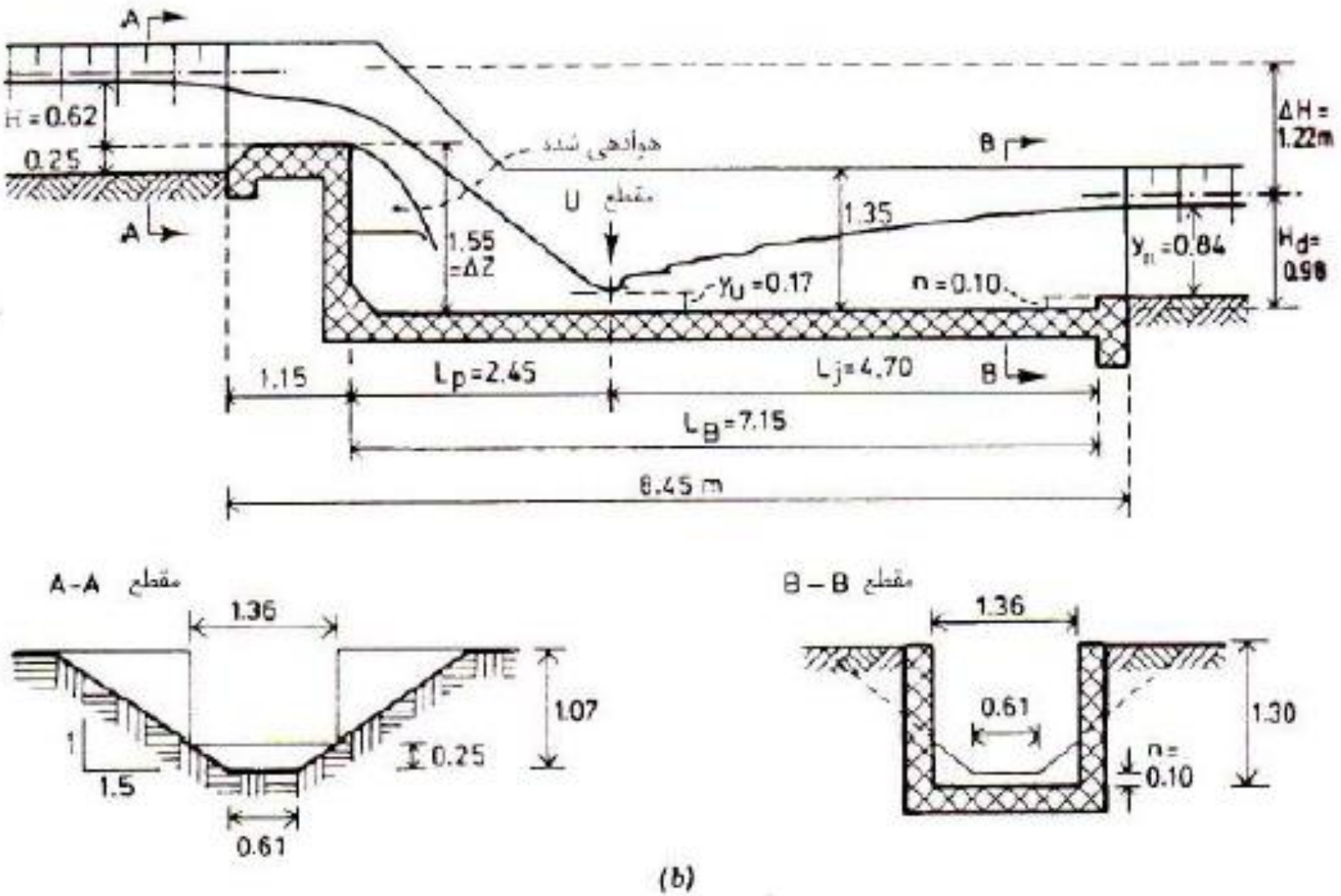
شیب شکن (Drop)

- ✓چنانچه در فواصلی از مسیر انتخابی احداث کانال، شیب طبیعی زمین از شیب لازم برای کف کانال تندتر باشد، برای انتقال آب به کار می رود.

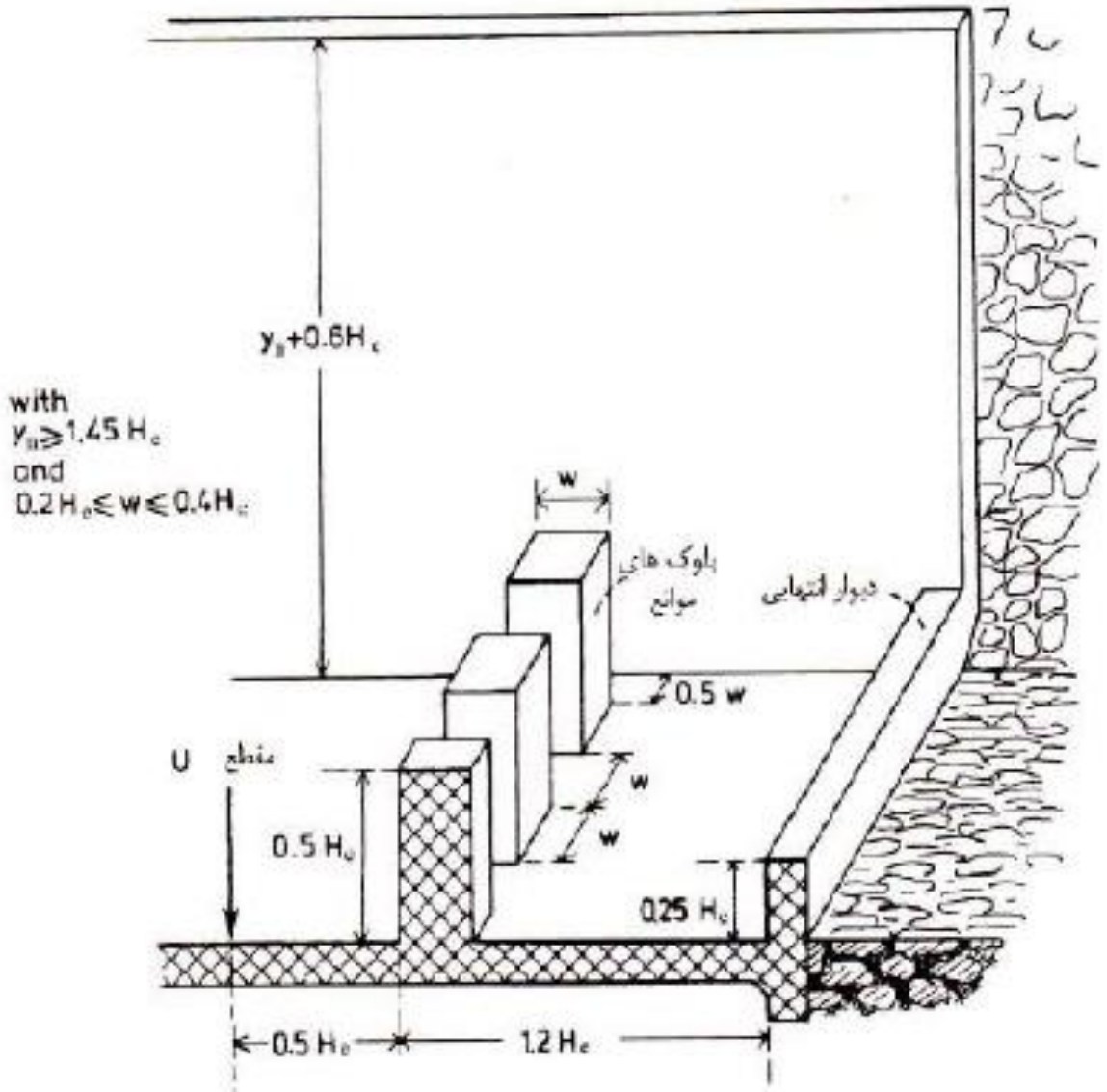
انواع شیب شکن

- قائم :اختلاف ارتفاع تا 1.5m
- مایل :اختلاف ارتفاع تا5.0m
- لوله ای :اختلاف ارتفاع تا 5.0mچنانچه حداکثر دبی برابر $100ft^3/s$بوده و احتمال گرفتگی مجرا وجود نداشته باشد.

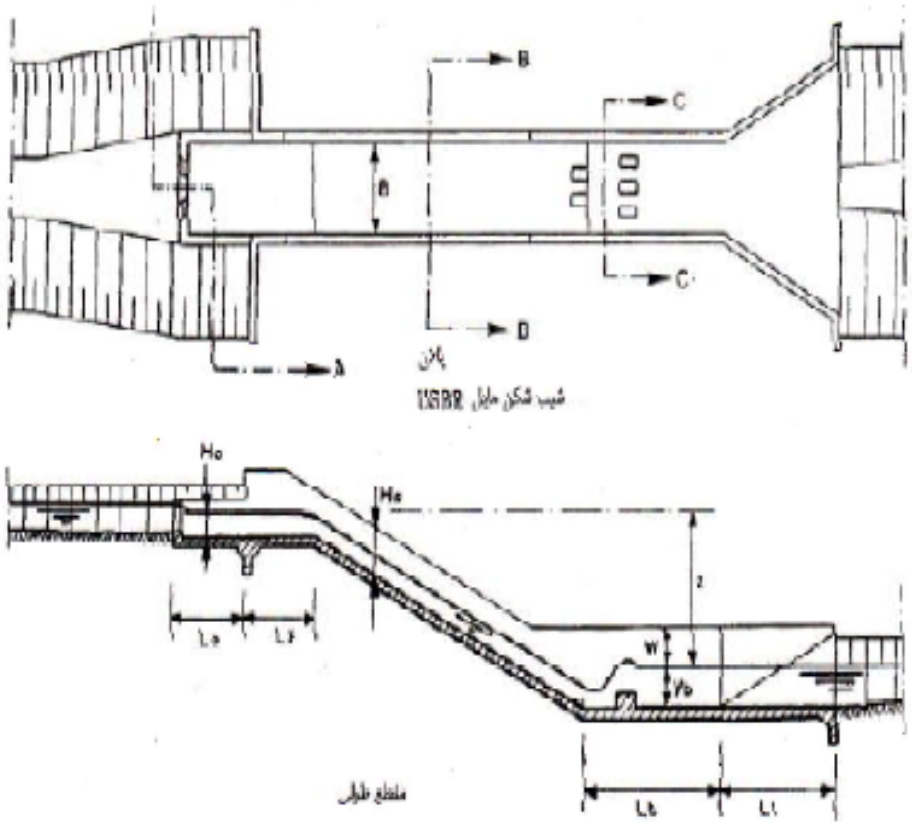
شیب شکن قائم بدون مانع

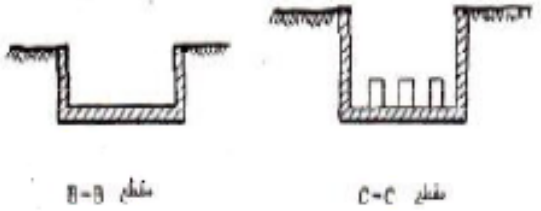


شیب شکن قائم با مانع



شیب شکن مایل با مقطع مستطیلی





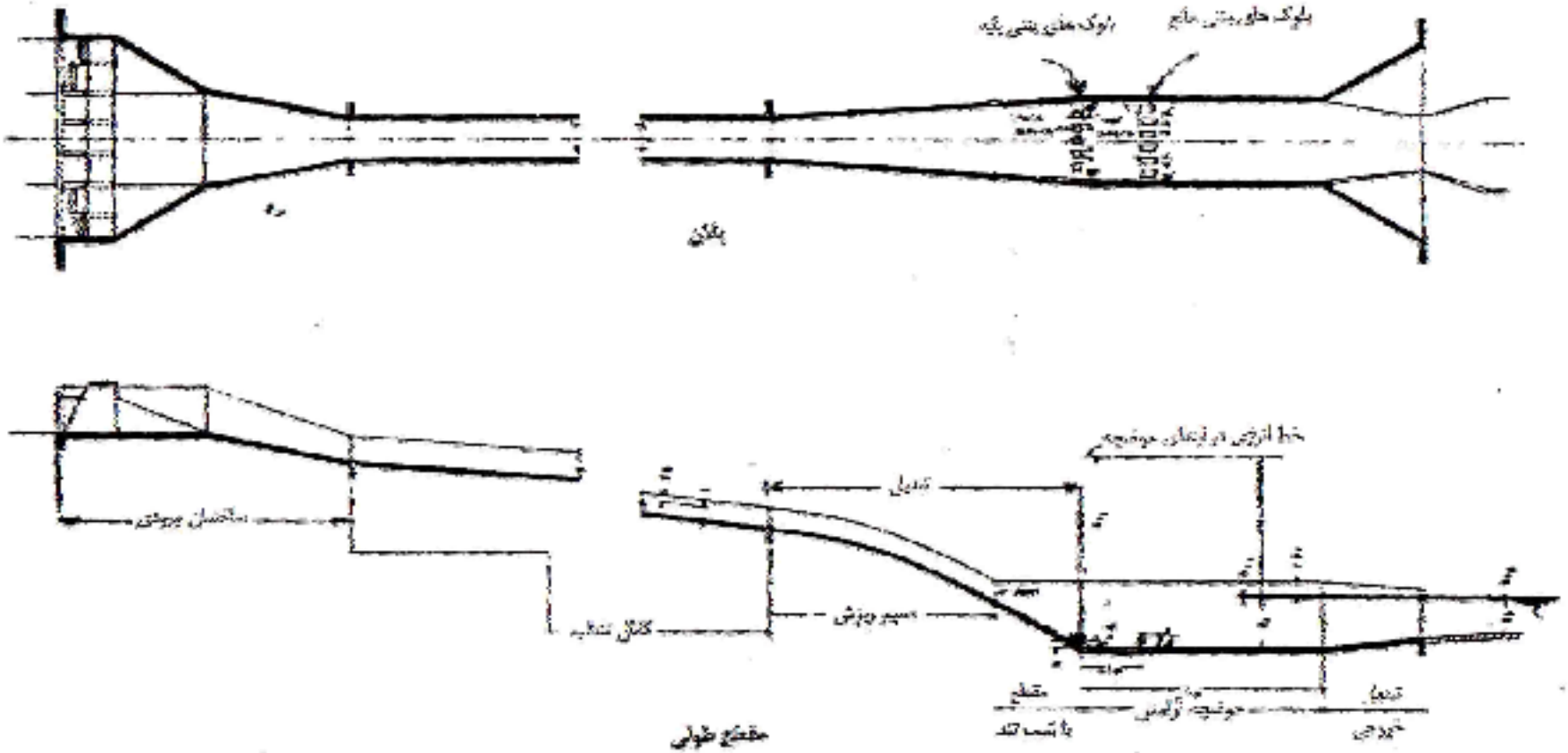
ملاحظات طراحی شیب شکن ها

- ✓ کارکرد شیب شکن ها مشابه سرریز سدهای کوتاه روی پی های خاکی
- ✓ کنترل پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب شکن و احداث حوضچه آرامش مناسب
- ✓ تعبیه ضربه گیر و مانع بر روی شیب شکن مایل جهت استهلاک انرژی آب
- ✓ کنترل پایین افتادگی سطح آب در کانال بالادست جهت جلوگیری از آب شستگی و فرسایش
- ✓ اجرای سنگ چین در پایین دست حوضچه جهت جلوگیری از ایجاد جوشش خاک

تنداب(*Chute*)

- ✓جهت انتقال آب به ازای اختلاف ارتفاع بیش از50.mو فاصله نسبتا زیاد به کار گرفته می شود.
- ✓شیب کف تنداب بیشتر از شیب بحرانی و جریان در تمام طول آن فوق بحرانی است.

تنداب (*Chute*)



تنداب با مقطع مستطیلی

نکات عمومی و هیدرولیکی طراحی تنداب ها

- کنترل فرسایش ناشی از پایین افتادگی تراز سطح آب در کانال بالادست از طریق سرریز یا دریچه تنظیم جریان
- تعبیه دیوار سپری برای جلوگیری از آبشستگی خاک پی
- کانال تنداب اگر روباز باشد، مستطیلی و اگر بسته باشد به صورت دایره ای طراحی می شود.
- اجرای حوضچه آرامش در پایین دست تنداب
- اهمیت تبدیل در تنداب ها به علت فوق بحرانی بودن جریان و ایجاد امواج اضافی
- زاویه تبدیل ورودی حداکثر 30^{o} و زاویه تبدیل خروجی حداکثر 25^{o} درنظر گرفته می شود.

ملاحظات طراحی شیب شکن ها

- ✓ به علت دشواری در اجرای خم شوت در پلان، در مسیریابی خط مستقیم برای مسیر اجرای شوت انتخاب شود.
- ✓ محاسبه میزان هواگیری در شوت و ایجاد تورم جریان و افزایش عمق آب
- ✓ محاسبه ارتفاع دیواره های طرفین با در نظر گرفتن ارتفاع امواج و جریان های آشفته
- ✓ کنترل پدیده کاویتاسیون ناشی از هواگیری

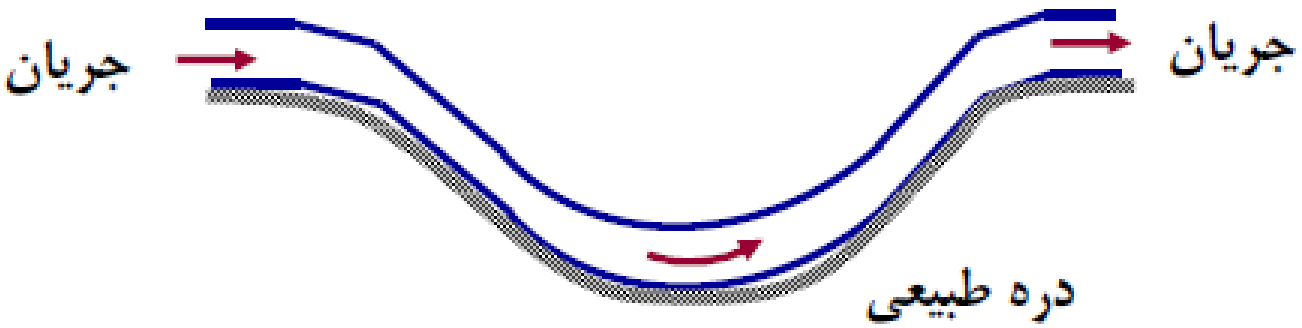
تشکیل امواج در تنداب ها

- ✓ یکی از مسائل مهم در طراحی تنداب ها (فوق بحرانی بودن جریان) تشکیل امواج است.
- ✓ **راهکارهای اجرایی جهت جلوگیری از تشکیل امواج:**
- ✓ اگر طول سازه زیاد است، از چند شیب شکن متوالی استفاده شود.
- ✓ مقطع تنداب با یک مقطع عمیق و کم عرض جایگزین شود.
- ✓ عرض مقطع سازه توسط دیوارهای طولی و موازی تقسیم شود.
- ✓ اگر هیچکدام کارساز نبود، مقطع با لوله جایگزین شود.

❖سیفون وارونه (Inverted Siphon)

سیفون وارونه(*Inverted Siphon*)

- ✓ برای انتقال آب از زیر جاده، راه آهن، رودخانه، دره یا کانال که با توجه به توپوگرافی مسیر، امکان عبور جریان با یک لوله مستقیم وجود نداشته باشد، به کار گرفته می شود.
- ✓ مجرای بسته ای است که به صورت پر و تحت فشار عمل می کند.
- ✓ جریان آب در سیفون معکوس به صورت ثقلی می باشد، بنابراین از اجرای ساده ای برخوردار است.



سیفون وارونه(*Inverted Siphon*)

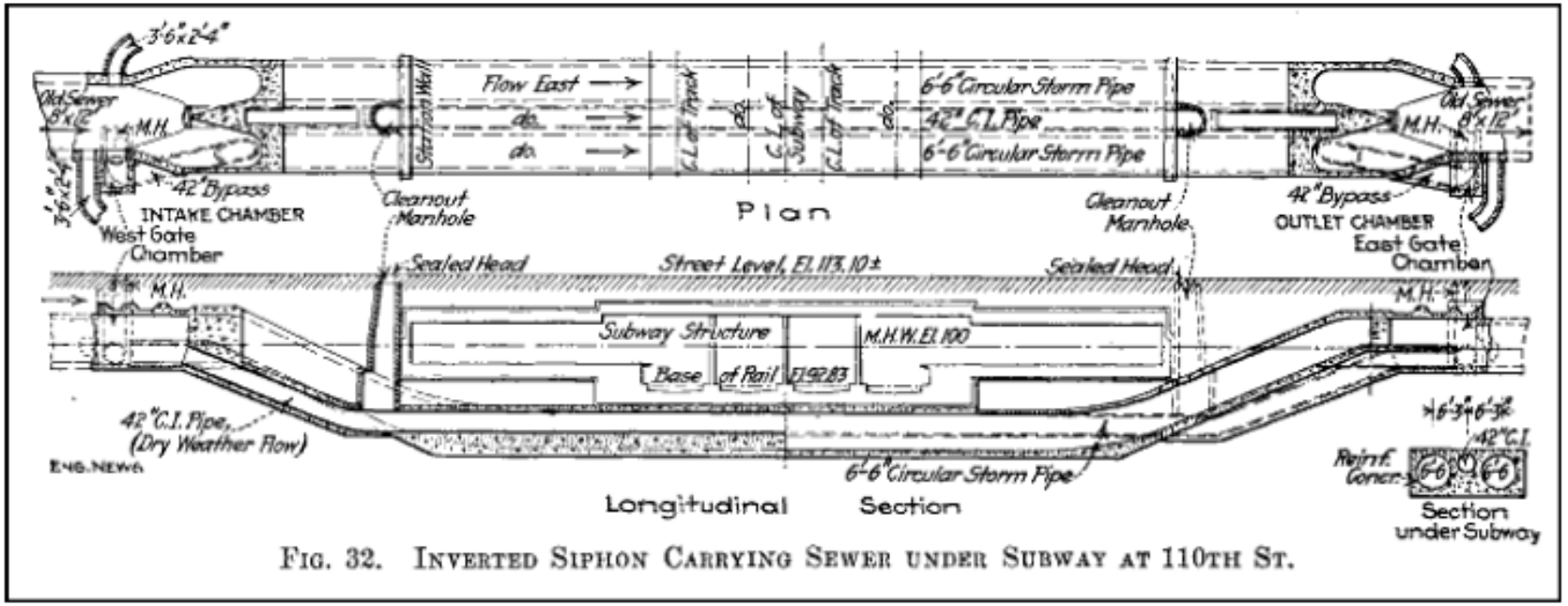


FIG. 32. INVERTED SIPHON CARRYING SEWER UNDER SUBWAY AT 110TH ST.

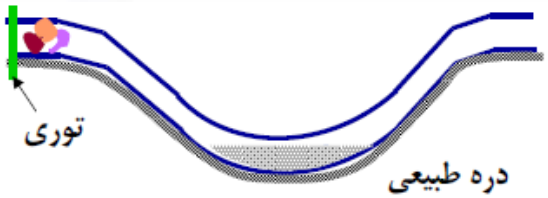
سیفون معکوس طراحی شده برای عبور فاضلاب از زیر خط مترو

مشکلات کاربری

- گرفتگی دهانه سیفون در اثر ورود مواد معلق و ورود جانوران به داخل آن
- ته نشین شدن و تجمع رسوبات در کف لوله سیفون و نیاز به لایروبی دائمی آن

✓ **راهکارهای حل مشکل**

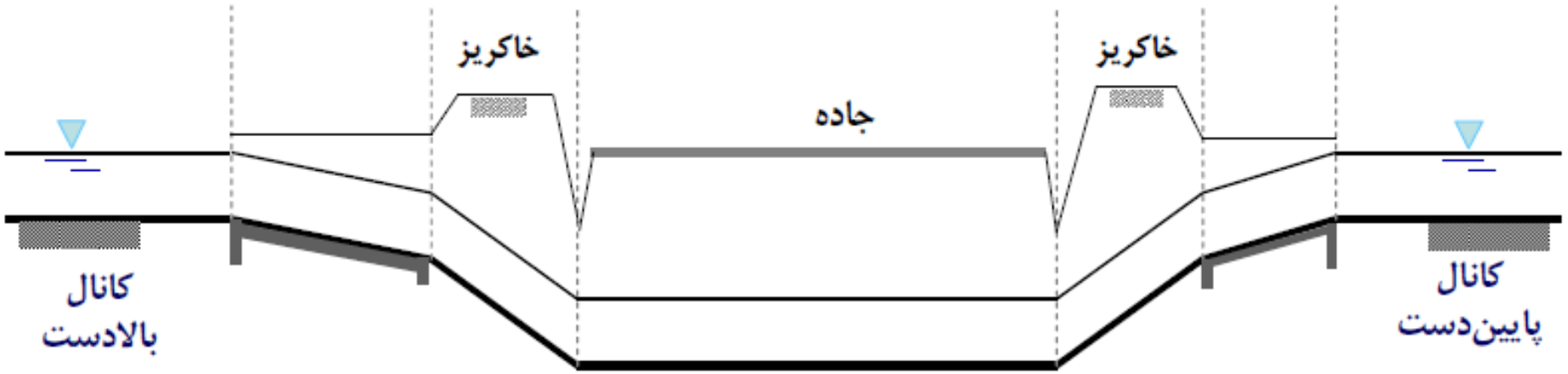
- در اطراف دهانه های ورودی و خروجی سیفون حصار می کشند.
- در دهانه ورودی آن توری قرار می دهند.



اجزای یک طرح معمول سیفون معکوس

- تبدیل روباز ورودی
- تبدیل مسقف ورودی
- مجرا با سطح مقطع دایره، بیضی، مربع یا مستطیل
- شیر تخلیه کننده
- تبدیل مسقف خروجی

- هر یک از پارامترهای اجرایی می توانند تحت تأثیر شرایط کلی منطقه و نیز مسائل اقتصادی، به صورت پیش ساخته و یا ساخته شده در محل اجرا گردد.
- برای سیفون های بزرگ، علاوه بر موارد فوق، احداث تجهیزات حفاظتی نیز ضروری است.



پروفیل طولی سیفون معکوس

نکات قابل توجه در طراحی سیفون معکوس

- سرعت مجاز
- تبدیل
- مسائل هیدرولیکی و رسوبگذاری
- شیب کف در مجرا
- ملاحظات اجرایی

سرعت مجاز

- سرعت معمول آب در سیفون
- سیفون کوتاه:1.5 m/s
- سیفون بلند: 3.0 m/s

نظر برخی محققین : برای جلوگیری از ته نشینی رسوب در سیفون، سرعت در سیفون می بایست حداقل ۲ برابر سرعت آب در کانال بالادست باشد.

جز در موارد نادر که از تبدیل خاکی استفاده می شود :حداکثر سرعت مجاز در سیفون 1.5 m/sدر نظر گرفته می شود.

تبدیل

در دهانه های ورودی و خروجی سیفون از تبدیل بتنی استفاده می شود.

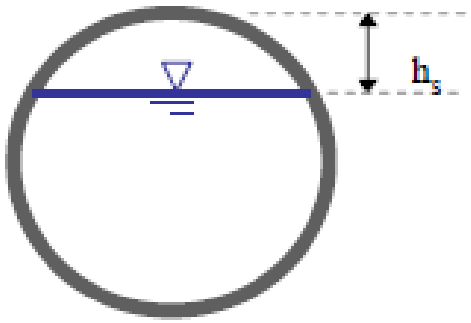
ضرایب افت در انواع تبدیل ها توسط استانداردهای ارائه کننده داده شده است.

تبدیل خاکی $\begin{cases} K_i = 0.5 \\ K_o = 1 \end{cases}$

تبدیل بتنی $\begin{cases} K_i = 0.4 \\ K_o = 0.7 \end{cases}$

تبدیل

- برای کاهش افت در سیفون سعی می شود درجه استغراق سقف لوله سیفون در مقاطع ورودی و خروجی آن به حداقل برسد.



تبدیل

فاصله سطح آب تا سقف لوله در مقطع ورودی

- برای سیفون های کوتاه و با دبی کم: حداقل 8 cm
- برای سیفون های بلند و با دبی زیاد: حداقل 15 cm
- جهت اطمینان، فاصله سطح آب تا سقف لوله در مقطع ورودی 1.5برابر ارتفاع نظیر سرعت لوله به کانال در نظر گرفته می شود.

$$\Delta h_v = h_{vp} - h_{vc} = \frac{V_p^2 - V_c^2}{2g}$$

$$h_{si} = 1.5\Delta h_v$$

- در خروجی نیز این فاصله نباید از بازشدگی لوله تجاوز کند.

$$h_{so} < \frac{1}{6} O_p$$

... چـــون داد عادلان بـــه جهـــان در بقا نکرد

بیـــداد ظالمان شما نیـــز بگذرد

در مملکت چو غرش شیران گذشت و رفت

این عـــوعو سگان شمـــا نیز بگذرد

آنکس که اسب داشت غبارش فرو نشست

گـــرد سم خران شمـــا نیـــز بگذرد

این نوبت از کسان بـــه شما ناکسان رسید

نوبت ز ناکسان شمـــا نیـــز بگذرد...

((سیف فرغانی))

❑مسائل هیدرولیکی طراحی سیفون

✓محاسبه صحیح رقوم بستر سازه در سراب و پایاب

✓کنترل امکان تشکیل پرش هیدرولیکی

✓محاسبه صحیح رقوم بستر سازه در سراب و پایاب

✓برای تعیین اختلاف رقوم بستر سازه در سراب و پایاب از معادله برنولی استفاده می شود.

✓چنانچه سازه در مسیر مستقیم قرار بگیرد، مجموع افتها در سازه می بایست با اختلاف رقوم سطح آب در سراب و پایاب (بار روی سازه) برابر باشد.

✓اگر عمق آب در سراب و پایاب برابر عمق نرمال باشد، اختلاف رقوم بستر سازه در سراب و پایاب می بایست برابر با مجموع افت ها شود.

✓مجموع افت ها بزرگتر از این اختلاف رقوم شود... پس زدگی جریان

✓مجموع افت ها کمتر از این اختلاف رقوم شود... پایین افتادگی سطح آب در سراب

❑محاسبه صحیح رقوم بستر سازه در سراب و پایاب

❑اگر مجموع افت سازه از انرژی موجود بیشتر باشد، جریان با مانع روبرو شده و در ورودی آب پس می زند. این پدیده را اصطلاحا *Back Water (پس زدگی جریان)* می گویند. *بر این اساس پیشنهاد* شده کانال بالادست یک افزایش ۵۰ درصدی در ارتفاع آزاد داشته باشد.

❑به عکس اگر مجموع افت ها خیلی کمتر از انرژی موجود باشد، لوله از جریان پر نشده و در ابتدای لوله پرش هیدرولیکی رخ می دهد که پدیده ای غیرقابل کنترل و خطرناک برای ایمنی سازه است.

❑محاسبه صحیح رقوم بستر سازه در سراب و پایاب

❑راه کارهای پیشنهادی برای زمانی که مجموع افت های سازه از انرژی موجود بیشتر است:

❑انتخاب قطر بزرگتر

❑تغییر موقعیت نقاط سازه

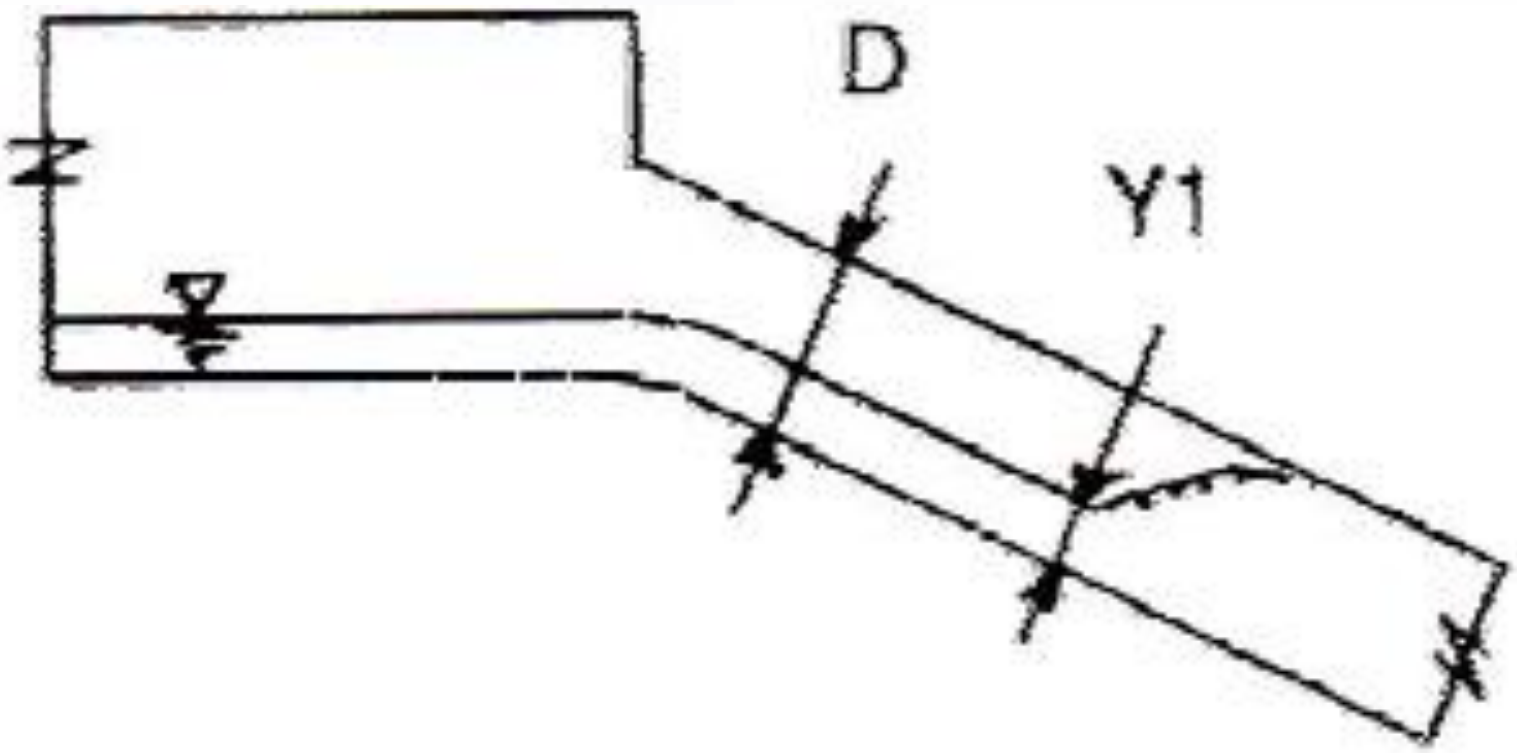
❑استفاده از دو یا چند لوله موازی به جای یک لوله (در لوله های موازی افت ها جمع نمی شوند).

کنترل امکان تشکیل پرش هیدرولیکی

- به ازای دبی های کمتر از دبی طراحی، امکان تشکیل پرش هیدرولیکی در محدوده دهانه ورودی وجود دارد.
- ایجاد پرش هیدرولیکی باعث ورود مقدار زیادی هوا به داخل جریان شده و حالت جریان را ناپایدار می کند.
- پرش هیدرولیکی همیشه همراه با امواج و تلاطم زیاد است که می تواند وضعیت نامطلوبی را برای سیفون به وجود آورد.

هواگرفتگی سازه سیفون

- سعی می شود پارامتر ضریب زبری مقادیر بالایی انتخاب شود تا اطمینان از محاسبات افزایش یابد.
- چنانچه ضریب زبری اجرا شده از ضریب زبری محاسباتی کمتر باشد، عمق استغراق از بین رفته و مقادیر زیادی هوا وارد سیفون می شود.
- پرش هیدرولیکی ناشی از هواگرفتگی و حباب های بزرگ هوا ایجاد جریان های کوبشی، کاهش ظرفیت جریان و احتمالا تخریب جداره های مجرا می نماید.



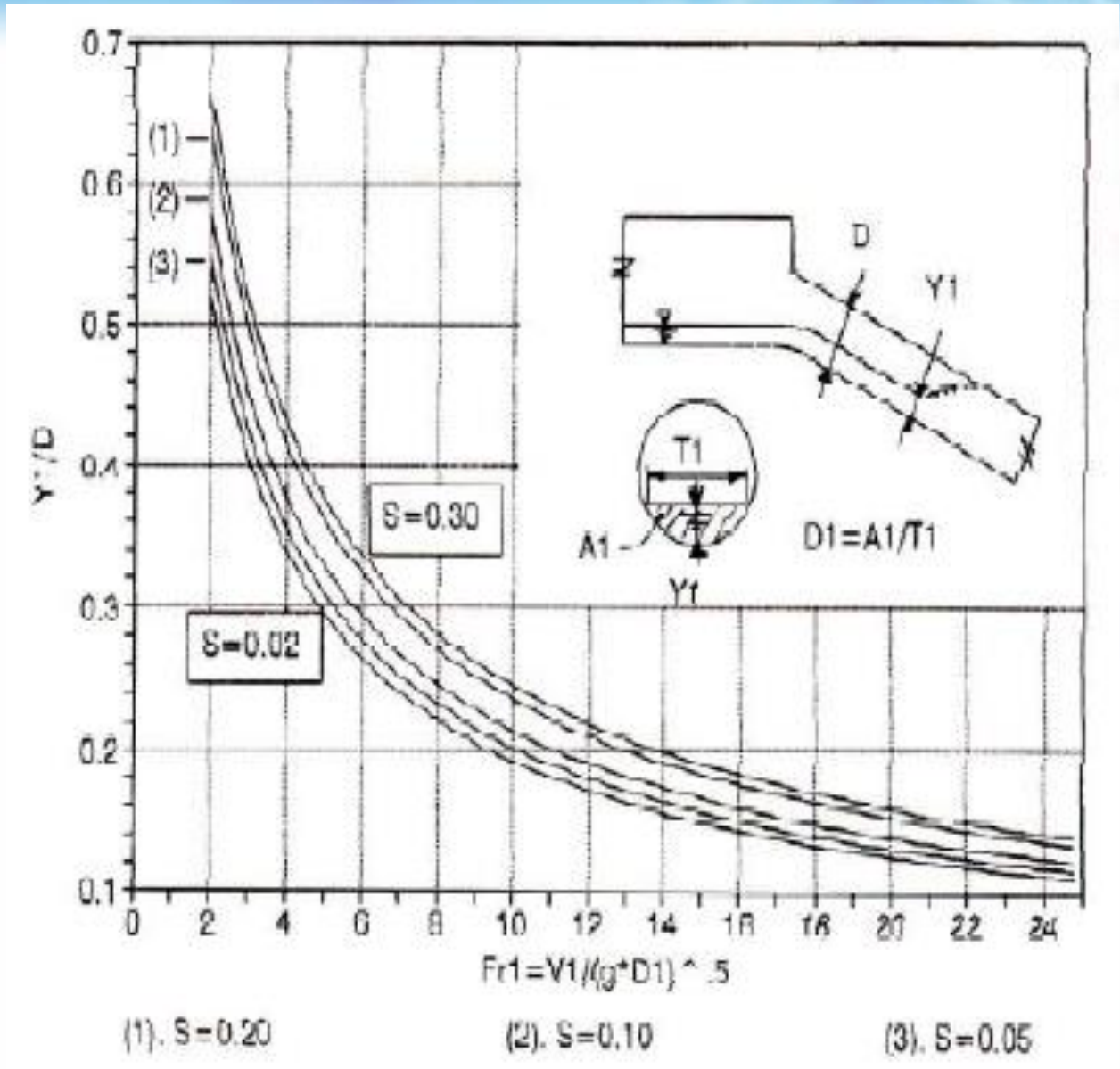
طراحی ورودی سیفون برای پرهیز از وقوع پرش – توصیه ***USBR***

1. پارامترهای معلوم مسأله :دبی، قطر لوله، شیب لوله، ضریب زبری (Q, Dp, Sp, n)
2. تعیین عمق نرمال جریان (y_1) بر اساس رابطه مانینگ نمودارهای تعیین عمق نرمال – عمق شروع پرش (y_1)
3. تعیین سطح مقطع جریان با رابطه پیوستگی (A)
4. محاسبه خط تماس با سطح آزاد (T)
5. محاسبه عمق مؤثر جریان (ye)
6. محاسبه عدد فرود جریان (Fr)

$$T = 2\sqrt{(D - y_1)y_1}$$

$$y_e = \frac{A}{T_1}$$

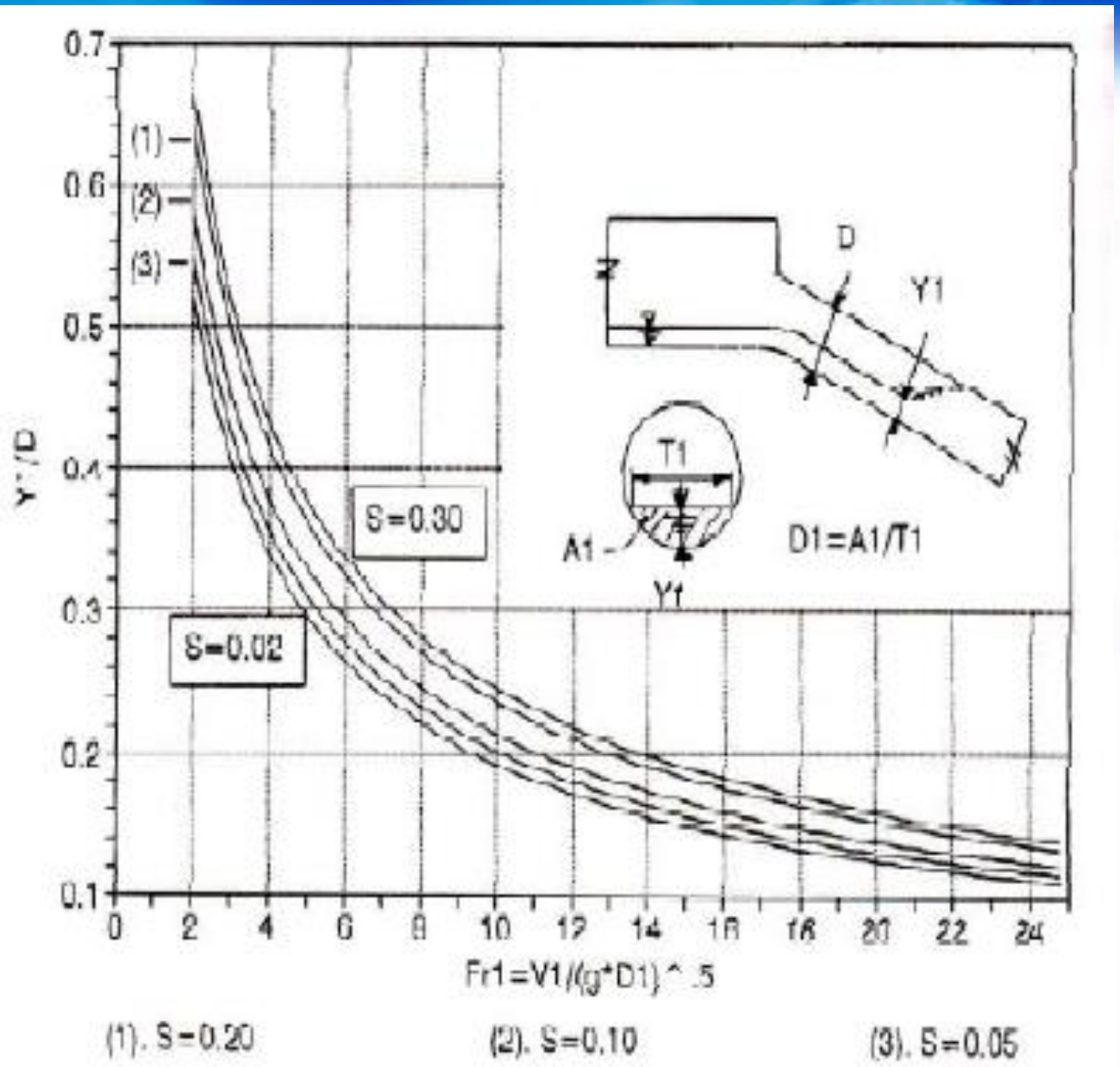
$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy_1}}$$


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
Y1/D
(1)
(2)
(3)
S=0.30
S=0.02
D
Y1
T1
A1
Y1
D1=A1/T1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
Fr1=V1/(g*D1)^.5
(1). S=0.20
(2). S=0.10
(3). S=0.05

طراحی ورودی سیفون برای پرهیز از وقوع پرش – توصیه *USBR*

۷ .عدد فرود جریان و مقدار y_1/D به نمودار منتقل می شوند و نقطه مربوط به جریان به دست می آید.

۸ .بر اساس مشاهدات USBRبرای پروژه های اجرایی مختلف، نمودار تهیه شده است. سمت راست نمودار معرف وقوع جریان هوا گرفته و سمت چپ معرف وقوع جریان بدون هوا گرفتگی است.


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
(1)
(2)
(3)
S=0.30
S=0.02
D
Y1
T1
A1
D1=A1/T1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
Fr1=V1/(g*D1)^.5
(1). S=0.20
(2). S=0.10
(3). S=0.05

مسائل رسوب گذاری در سیفون

- وجود رسوبات در سیفون باعث افزایش افت انرژی و احتمالا پس زدگی جریان در کانال بالادست.
- برای تخلیه رسوبات : در پایینترین نقطه مجرای سیفون شیر تخلیه نصب می شود.
- در سیفونهای کوتاه و کوچک ممکن است این عمل به صورت پمپاژ صورت بگیرد.
- برای سیفون های با قطر بیش از 0.9m معمولا یک سوراخ بازدید 0.9 (*Manhole*) در مقطع مورد نظر به منظور نظارت و تخلیه رسوبات و آب در نظر می گیرند.

شیب کف در مجرا

- وجود رسوبات در سیفون باعث افزایش افت انرژی و احتمالا پس زدگی جریان در کانال بالادست می شود.
- سعی می شود شیب در زانویی های سیفون زیاد نباشد.
- حداکثر شیب در زانوها... ۱قائم به ۲ افق (m=2)
- شیب کف قسمت افقی سیفون حداقل 0.005 و حداکثر0.5انتخاب می شود.

انتخاب نوع لوله

- نوع لوله ها می بایست حداقل از نوع کلاس B باشند.
- اولویت با لوله های بتنی مسلح
- شبکه میلگردها برای لوله ها با بار معمولی در یک لایه و در وسط پوسته لوله
- شبکه میلگردها برای لوله ها زیر بار سنگین در دو لایه، یکی در نزدیکی سطح خارجی پوسته و دیگری در مجاورت سطح داخلی آن
- در استانداردهای جهانی به ندرت از لوله فولادی استفاده می شود. اما در ایران هنوز کاربرد دارد.
- خوردگی لوله ها می بایست حتما کنترل شود.

مثال طراحی سیفون معکوس

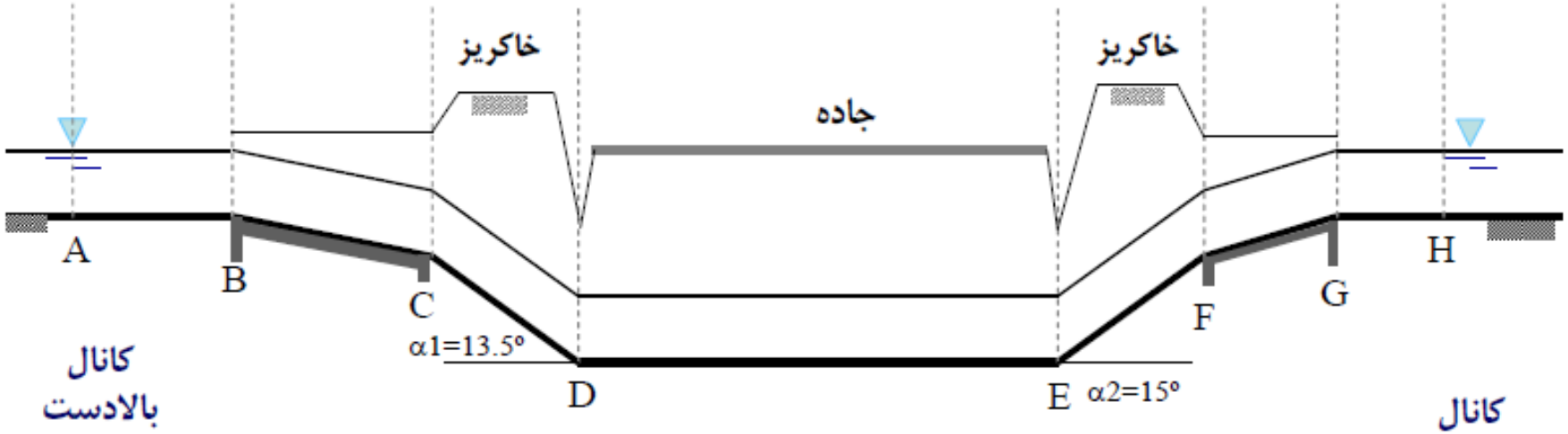
یک کانال خاکی با دبی $Q=1.8m^3/s$، سرعت جریان $0/7m/s$و عمق نرمال $y_n=0.9m$ جاده اصلی را قطع می کند. برای انتقال آب از یک طرف جاده به طرف دیگر قرار بر طراحی سیفون معکوس مطابق با شکل است. در مواقع کم آبی حداقل دبی جریان در کانال به $300lit/s$می رسد. داده های معلوم مسأله عبارتند از:

$EL_A=1650m$، $EL_H=1649.85m$ ،$EL_J=1650.25m$

ارتفاع آزاد در کانال پایین دست برابر $0.5m$ است.

عرض مجرا $23.3m$در نظر بگیرید.

مثال طراحی سیفون معکوس



پروفیل طولی سیفون معکوس

مثال طراحی سیفون معکوس

سیفون از نوع کوتاه و با دبی کم می باشد، پس سرعت آب در سیفون را می توان 1.5m/s انتخاب نمود.

$$Q = VA \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V} \quad \Rightarrow \quad d_0 = 1.13\sqrt{\frac{Q}{V}} = 1.13\sqrt{\frac{1.8}{1.5}} = 1.24\,m$$

با توجه به قطرهای استاندارد، قطر 1.3mانتخاب می شود.

مثال طراحی سیفون معکوس

محاسبه پارامترهای هیدرولیکی سیفون (با فرض لوله بتنی با n=0.013)

$$V = \frac{4Q}{\pi d_0^2} = 1.36 \ m/s$$

$$R = \frac{d_0}{4} = 0.325 \ m$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = 0.094 \ m$$

$$S_f = \left[\frac{nV}{R^{2/3}}\right]^2 = \left[\frac{0.013 \times 1.36}{0.325^{2/3}}\right]^2 = 1.4 \times 10^{-3}$$

ارتفاع آزاد در کانال بالادست Fb=1.5*0.5=0.75m درنظر گرفته می شود.

رقوم تاج کانال در نقاط A و H محاسبه و رند می شوند:

$$EL_A + y_n + F_{b(A)} = 1650 + 0.9 + 0.75 = 1651.65m$$

$$EL_H + y_n + F_{b(H)} = 1649.85 + 0.9 + 0.5 = 1651.25m$$

محاسبه ELc

اگر ارتفاع عمودی مقطع لوله در دهانه ورودی را باHt نشان دهیم:

$$H_{t1} = \frac{d_0}{\cos\alpha_1} = \frac{1.3}{\cos 13.5} = 1.337m$$

میزان استغراق سقف لوله می بایست $1.5\Delta h_v$ یا حداقل 8cmباشد:

$$\Delta h_v = \frac{V_p^2 - V_c^2}{2g} = \frac{1.36^2 - 0.7^2}{2 \times 9.81} = 0.069m$$

$$1.5\Delta h_v = 1.5 \times 0.069 = 0.1035m > 0.08m$$

$$EL_C = (EL_A + y_n) - (1.5\Delta h_V + H_{t1})$$
$$= (1650 + 0.9) - (0.1035 + 1.337) = 1649.45m$$

محاسبه ELB

در نوع خاص تبدیل که انتخاب شد، طول تبدیل سه برابر قطر است:

$$L_t = 3d_o = 3.9_m$$

اختلاف رقوم دو سر تبدیل برای تبدیل ورودی و خروجی برابر $d_o/2$ انتخاب شده است:

$$EL_B = EL_c + \frac{d_o}{2} = 1649.45 + \frac{1.3}{2} = 1650.1m$$

با توجه به اینکه رقوم B از A نمی تواند بیشتر باشد: ELB=1650m

کنترل شیب کف تبدیل ورودی

$$\frac{EL_B - EL_C}{L_t} = \frac{1650 - 1649.45}{3.9} = 0.141 < 0.25$$

OK

تبدیل خروجی

برای حداقل کردن، درجه استغراق سقف لوله در دهانه خروجی، رقوم نقاط GوHبرابر در نظرگرفته می شود.

$$EL_G = EL_H = 1649.85m$$

با توجه به شباهت تبدیل ورودی و خروجی داریم:

$$EL_G - EL_F = EL_B - EL_C = 0.55m$$

$$EL_F = 1649.85 - 0.55 = 1649.30m$$

کنترل مجموع افت ها با انرژی موجود

ضرایب افت در تبدیل بتنی:

$$h_i = K_1 \Delta h_v$$

ضریب افت موضعی در دهانه ورودی0.4

$$h_o = K_o \Delta h_v$$

ضریب افت موضعی در دهانه خروجی 0.7

ضریب افت در زانویی ها

$$\alpha_1 = 13.5^\circ \rightarrow K_{b1} = 0.044 \qquad \alpha_2 = 15^\circ \rightarrow K_{b2} = 0.05$$

$$h_b = K_b \Delta h_v$$

افت در طول لوله

$$h_f = K_f L_P$$

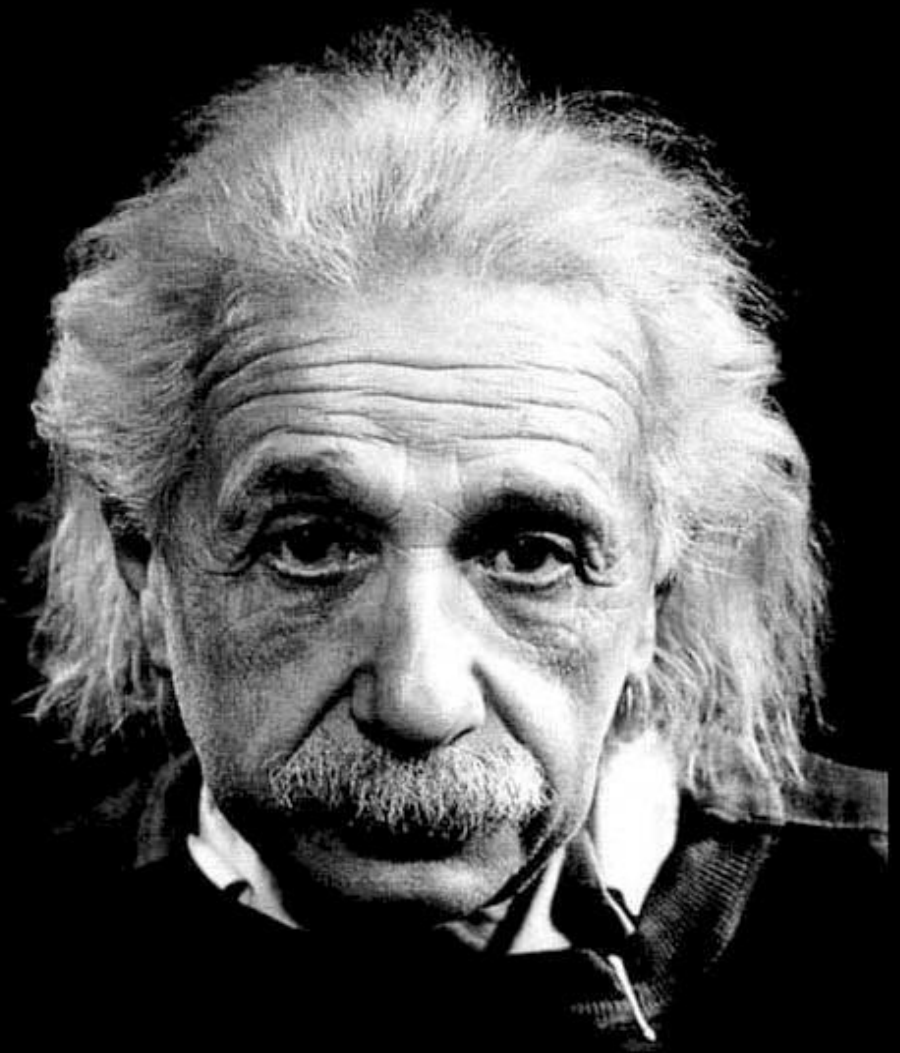
$$\Delta H = 1.1 \sum h_L = 0.13m$$

محاسبه انرژی موجود(اختلاف رقوم سطح آب در سراب و پایاب)

$$\Delta H = (EL_A + y_n) - (EL_H + y_n) = 0.15m$$

$$\Delta H = 0.15m > \sum h_L = 0.13m$$ OK

از وقتی که ریاضی‌دانان از سرو کول «نظریه نسبیت» بالارفته‌اند،
دیگر خودم هم از آن سر در نمی‌آورم.



آشنایی با انواع سریزها

سرریزها(*Spillway*)

- کاربرد :برای عبور آبهای اضافی و سیلا ب ها از سراب به پایاب سدها
- وظیفه :کنترل ارتفاع و حجم آب دریاچه پشت سد
- طراحی یک سرریز مطمئن، بسیار اهمیت دارد. شکست سدهای بسیاری حاصل طراحی نادرست سرریز و یا مجهز نبودن به سرریزی که ظرفیت کافی ندارند، گزارش شده است.
- در سدهای خاکی و سنگریزه ای، که امکان انهدام سد در نتیجه گذر آب از روی تاج آن بسیار زیاد است، داشتن سرریز با ظرفیت بالا اهمیت زیادی دارد.
- سدهای بتنی قادر به تحمل نسبی آب از روی تاج سد هستند.

- طرح سرریز علاوه بر تأمین ظرفیت کافی، از نظر هیدرولیکی و سازه ای نیز باید کافی باشد ودر محلی پیش بینی شود که تخلیه آب سرریز سبب فرسایش و شسته شدن پایین دست پنجه سد نشود.
- سرریز جریان را از زیر بحرانی به فوق بحرانی تبدیل میکند، لذا امکان فرسایش شدید آبی در پایانه سرریز محتمل است و بنابراین سازه های مستهلک کننده انرژی یکی از اجزای جدانشدنی برای پایاب سرریز به حساب می آید.
- پوشش سرریز باید در مقابل فرسایش مقاوم باشد تا بتواند سرعت های فرساینده بالا را تحمل کند.

- فراوانی عملکرد سرریز بستگی به خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز و هدف پروژه دارد.
- بهره گیری از سرریز محدود به مواردی است که رودخانه سیلابی باشد و یا جریانات سطحی حوزه از ظرفیت سایر تأسیسات تخلیه کننده تجاوز کند.
- در سدهای انحرافی به دلیل کم بودن ظرفیت ذخیره مخزن و نیز کم بودن دبی منحرف شده در مقایسه با جریان طبیعی رودخانه، سرریز تقریباً به طور دائمی استفاده می شود.

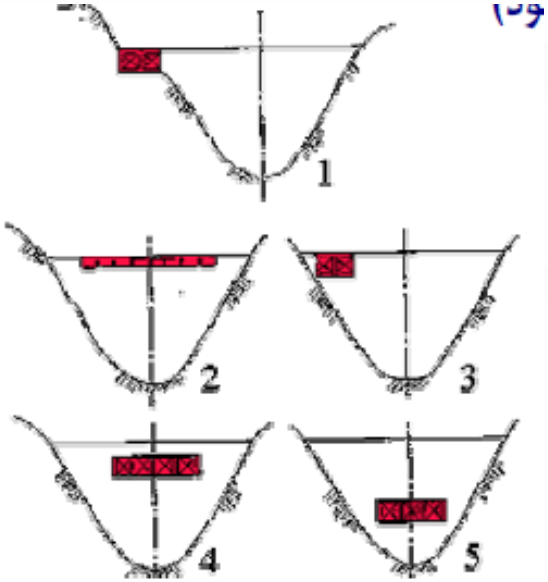
انواع سرریز

- تقسیم بندی بر اساس وجود یا عدم وجود دریچه
- اگر شرایط توپوگرافی محل و میزان سیل طوری باشد که بتوان از سرریز بدون دریچه استفاده کرد، بهره برداری از سرریز آسان می شود.
- این امر در مقاطع عریض رودخانه میسر است و برای مقاطع تنگ رودخانه، معمولاً سرریز سد با دریچه طراحی می شود.
- در حالت دوم کنترل جریان راحت تر است و این نوع سرریز به سرریزهای کنترل کننده سیلاب نیز معروف هستند.

•تقسیم بندی بر اساس محل قرارگیری سرریز نسبت به سد

•سرریزهایی که در بدنه سد احداث می شوند :سرریزهای ریزشی آزاد، اوجی و سرریزهای لبه پهن (این نوع بیشتر در سازه های کوتاه استفاده می شود)

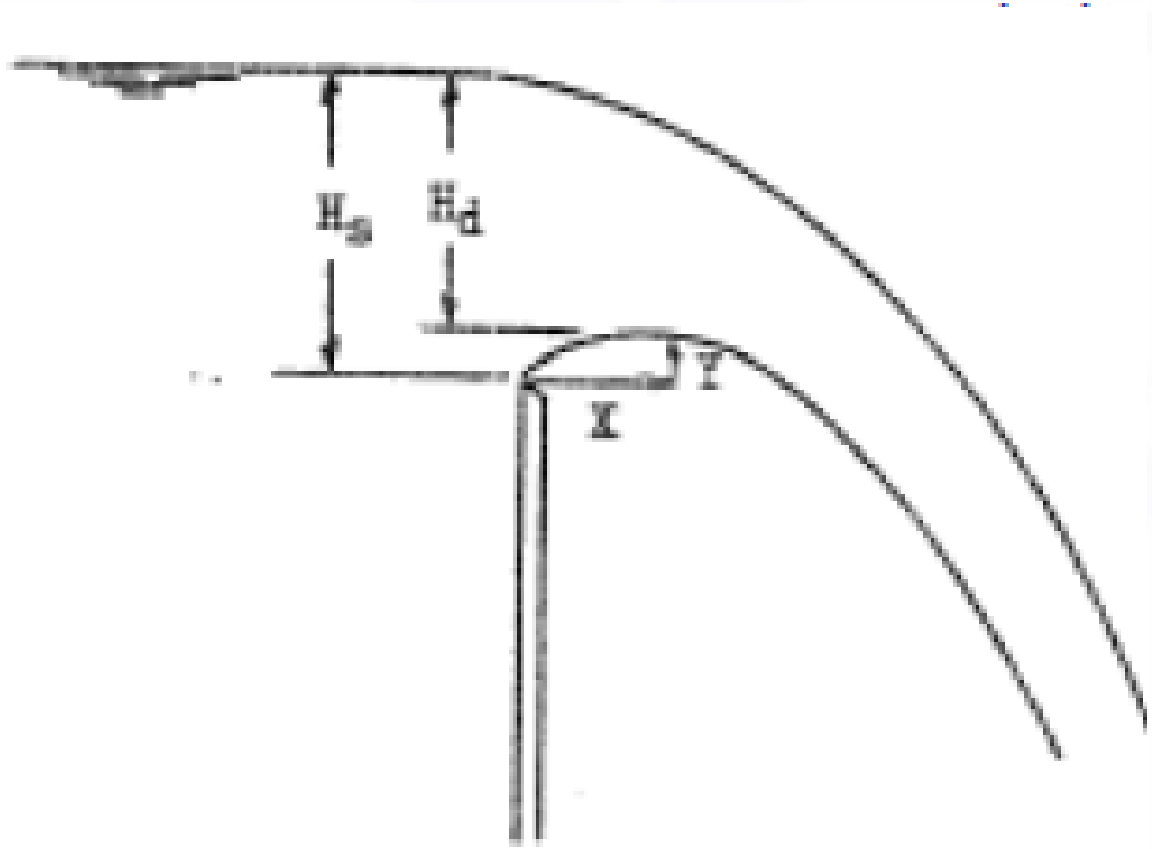
سرریزهایی که خارج از بدنه سد ساخته میشوند:



1. سرریزهای جانبی
2. سرریز تنداب
3. سرریز نیلوفری
4. سرریز سیفونی
5. سرریز پله کانی

سرریز اوجی (Ogee Spillway)

- از نوع سرریز های ادغام شده در بدنه سد که در سدهای بتنی و قوسی قابل احداث است.
- از مزیت های آن سهولت در طراحی و هزینه اجرای پایین آن است.
- این سرریز ها طوری طراحی می شوند که پروفیل تاج و جلوی ساختمان آنها منطبق بر سطح زیرین آب لبریز شده از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با همان مشخصات مورد نیاز در بالادست سرریز اصلی


H_s
H_d
Y
X

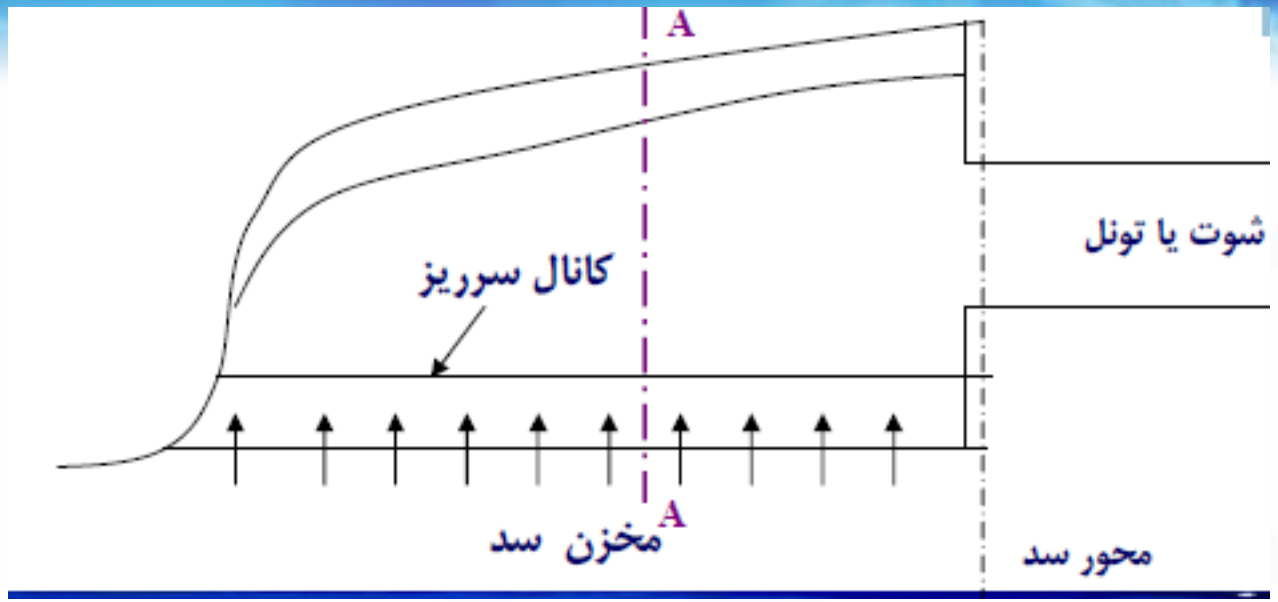
•سرریز جانبی(*Side Channel Spillway*)

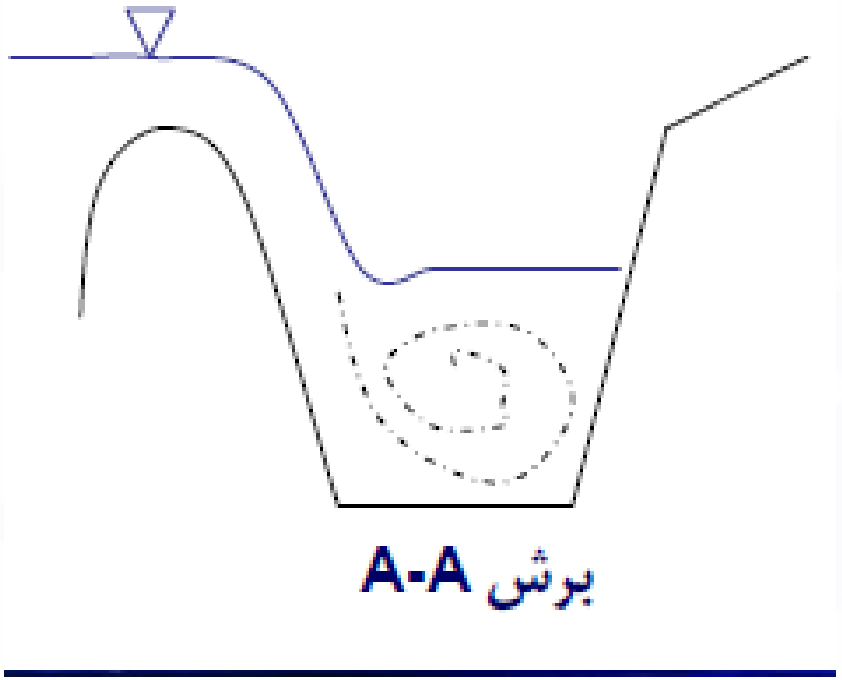
•تاج سرریز، عمود بر محور رودخانه، جوابگوی انتقال سیلاب نباشد.

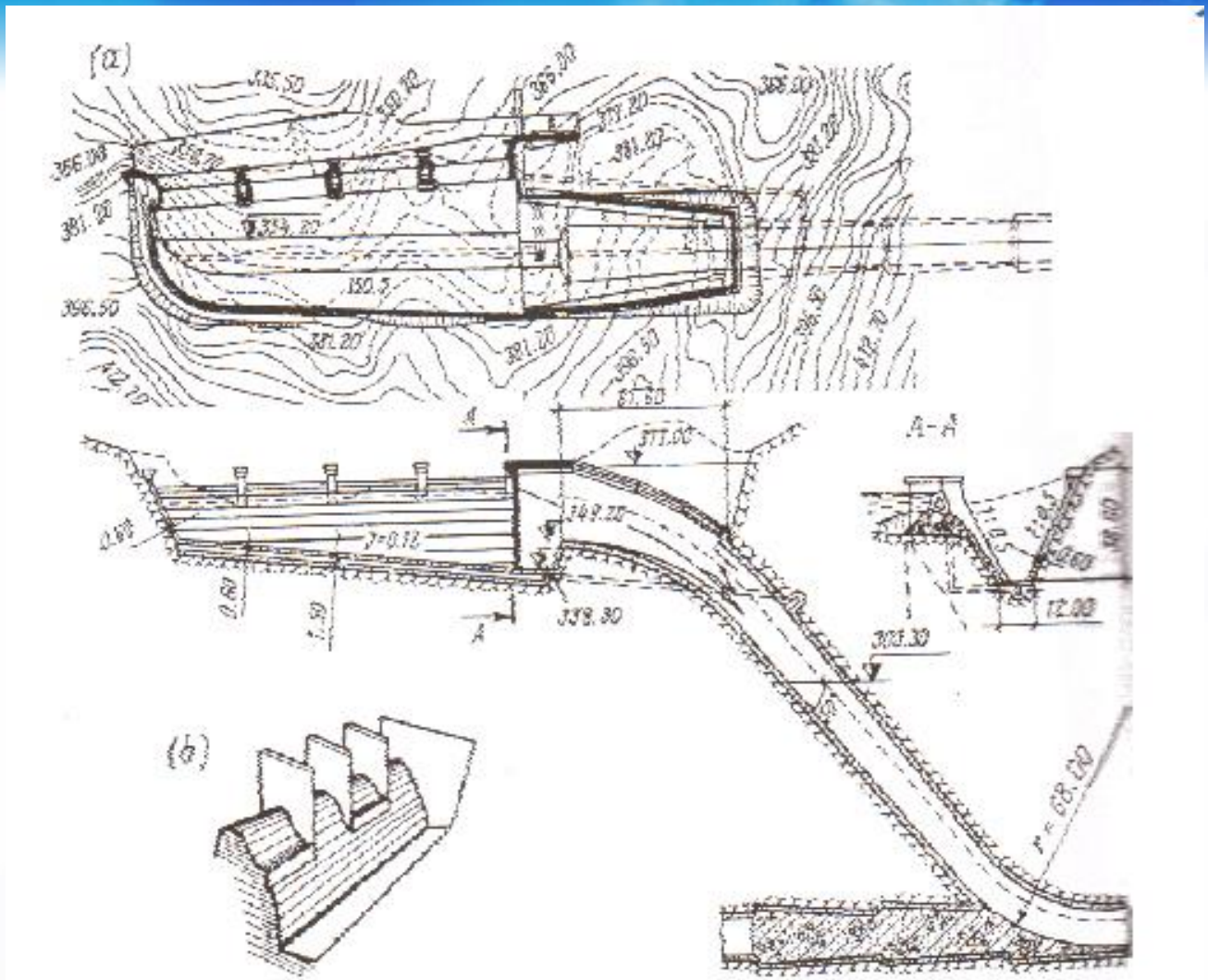
•سرریز جانبی می تواند با تونل انحراف آب یا با تنداب به جریان رودخانه پایین دست برسد.

•محاسبات سرریز های جانبی به صورت جریان های متغیر مکانی است.

•روی تکیه گاه ها در کناره سد ساخته می شود و در انتهای آن آستانه سرریز (از نوع اوجی) وکانال تخلیه جریان وجود دارد.


A
شوت یا تونل
کانال سرریز
A
مخزن سد
محور سد


برش A-A



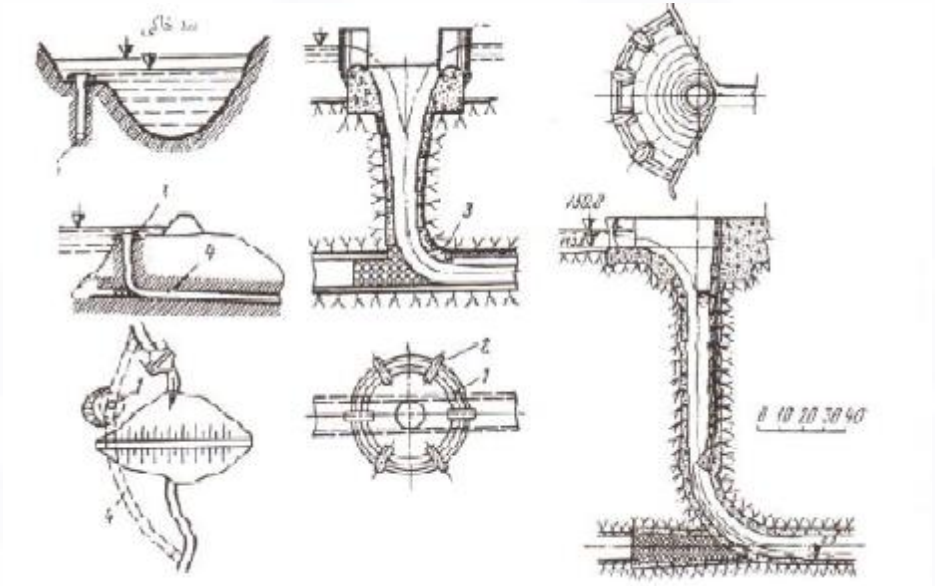
سرریز جانبی همراه با تونل انتقال

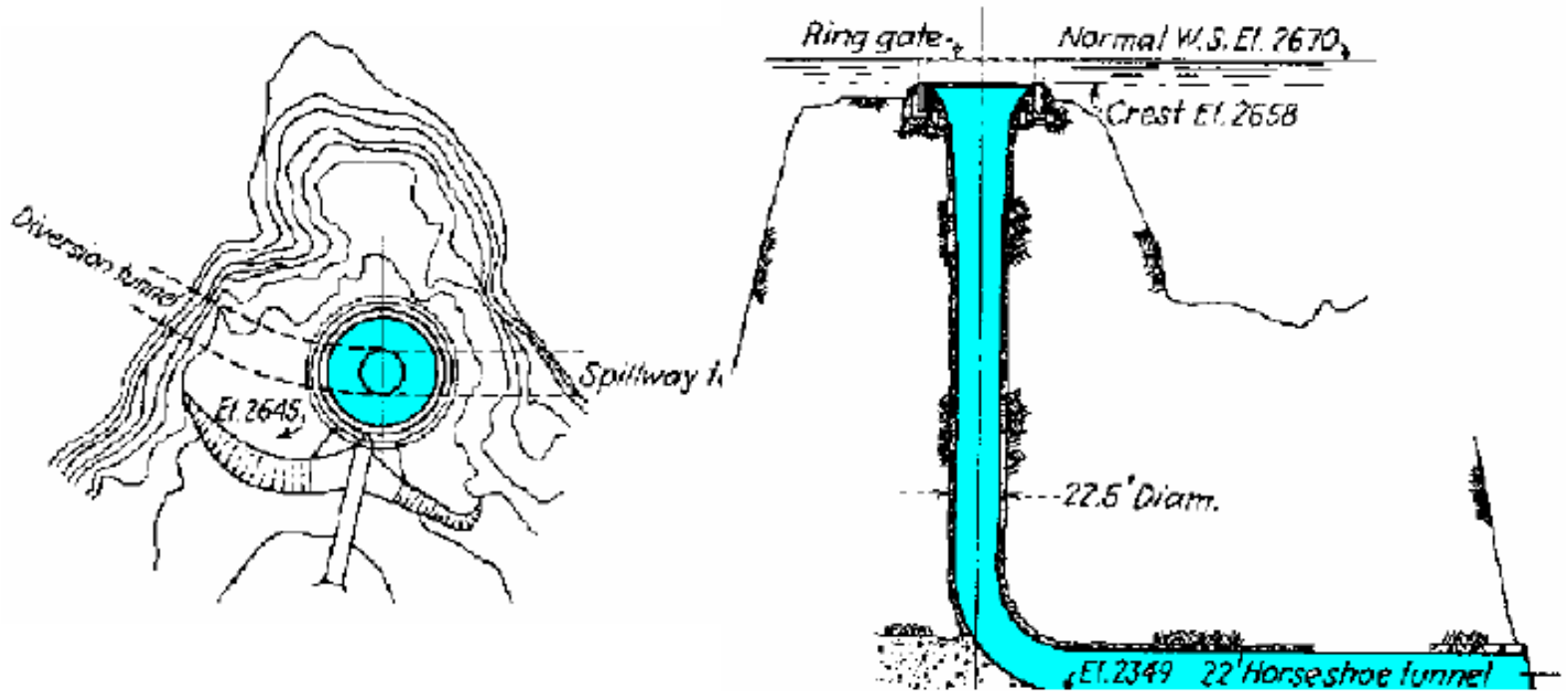
سرریز تنداب(*Chute Spillway*)

- برای انتقال آب از سطحی به سطح پایین تر و در فاصله نسبتاً زیاد از تنداب استفاده می شود.
- سیستم عملکرد آنها مشابه تنداب در شبکه های انتقال آب است.
- در سدها در ابتدا تنداب، سرریز اوجی و سرریز جانبی قرار می گیرد.
- در شبکه های انتقال آب در ابتدای تنداب، سرریز اوجی و تبدیل قرار می گیرد.
- از مسائل مهم در این سرریزها تشکیل امواج تداخلی بلافاصله بعد از سرریز اوجی و وجود هوا در جریان آب در طول تنداب می باشد.
- در سرریز تنداب جریان به صورت فوق بحرانی بوده و ضروری است تا در پایین دست، انرژی مخرب آن را در حوضچه های آرامش مستهلک نمود.

سرریز نیلوفری(*Morning Glory Spillway*)

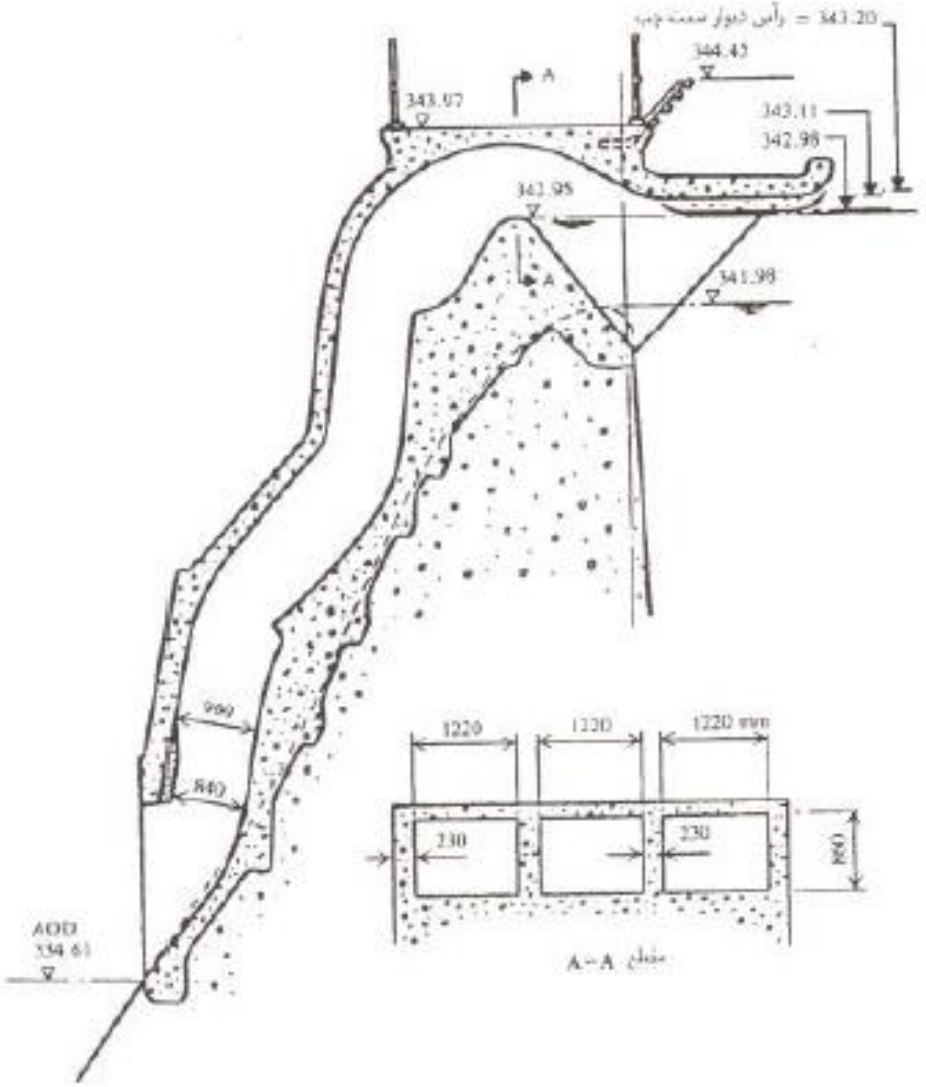
- این نوع سرریز معمولاً در زمان ساخت سد، به تونل انحراف آب متصل می شود.
- دهانه ورودی سرریز به صورت دایره ای یا قسمتی از دایره است.




Diversion tunnel
El. 2645
Spillway
Ring gate
Normal W.S. El. 2670
Crest El. 2658
22.5' Diam.
El. 2349
22' Horseshoe tunnel

سرریز سیفونی (Siphon Fall)

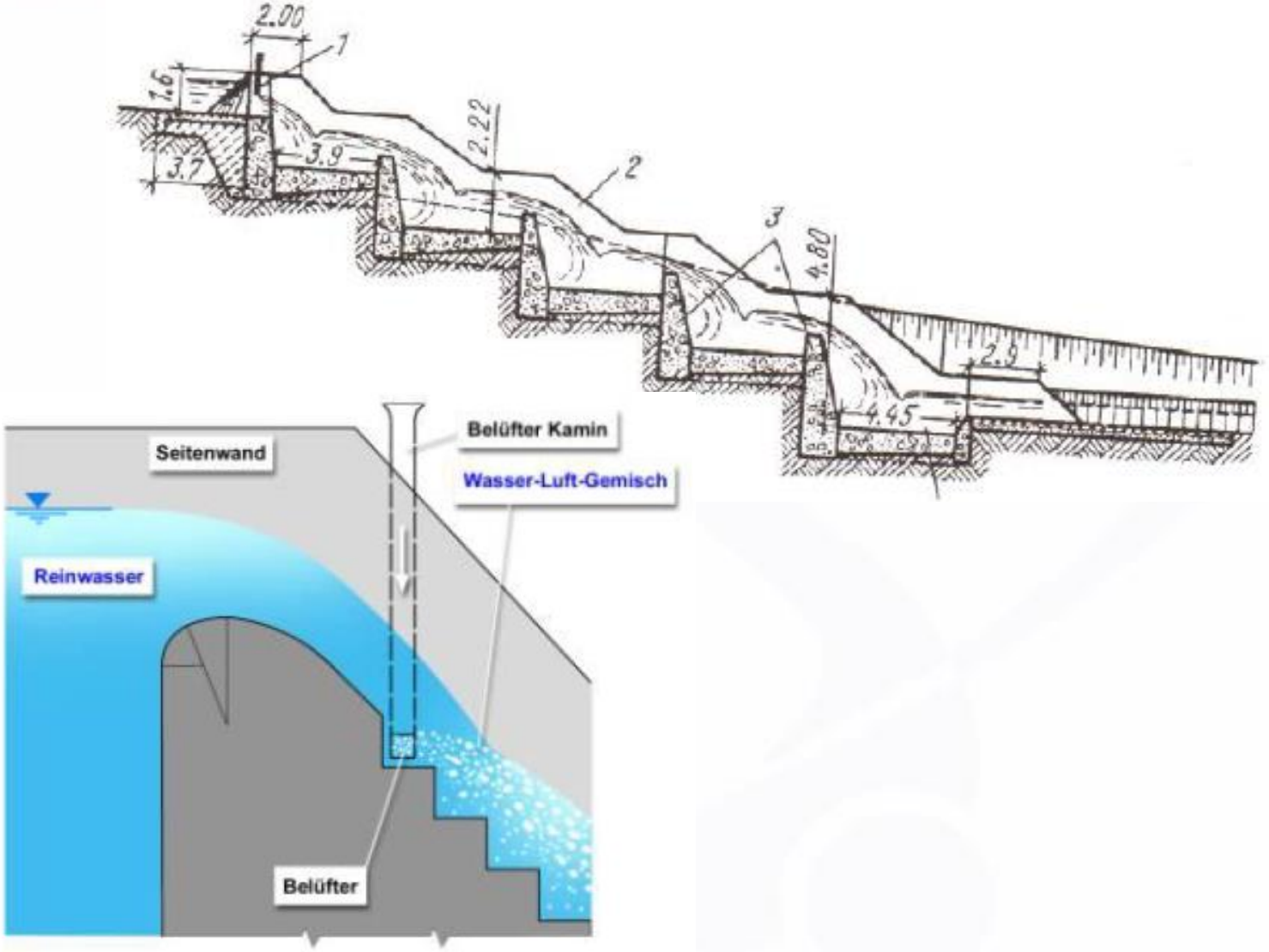
- برای عبور مقدار زیادی آب در عرض کمی از ساحل رودخانه یا در طول کوتاهی از تاج سرریز
- رقوم تاج سرریز در گلوگاه سیفون (کف گلوگاه سیفون) هم سطح رقوم نرمال سطح آب در مخزن یا کانال قرار دارد.
- حرکت جریان تحت تأثیر فشار منفی صورت می گیر د.
- حداکثر فشار منفی ایجاد شده در گلوگاه سیفون نباید از0.7فشار اتمسفر محلی تجاوز کند.


344.43
343.97
343.11
342.98
342.95
341.98
A
A
900
840
AOD
334.61
1220
1220
1220 mm
230
230
840
A–A

سرریز پله کانی(*Stepped Fall*)

✓در برخی موارد که شیب برای احداث تنداب بسیار تند است، برای انتقال آب از سراب به پایاب از سرریز پله کانی استفاده می شود.

✓در سرریزهای پله کانی چند حوضچه آرامش به دنبال هم قرار می گیرند. به این ترتیب انرژی مخرب تا قبل از رسیدن به پایین دست سرریز تا حد قابل توجه مستهلک می گردد.



سیستم هوادهی (مکش هوا) برای سرریز پله کانی

انتخاب نوع سرریز

انتخاب نوع سرریز بستگی به عوامل زیر دارد:

- ❑ •نوع سد
- ❑ •اندازه دبی سیلاب طرح
- ❑ •توپوگرافی منطقه
- ❑ •جنس و مقاومت پی

•سرریز از هر نوعی که انتخاب شود دارای سه جزء اساسی زیر است:

- تآسیسات کنترل
- کانال تخلیه
- تآسیسات پایاب

تأسیسات کنترل

- وظیفه تنظیم و کنترل دبی خروجی از سرریز را دارند.
- مانع از خروج جریان از مخزن در ترازهای پایین تر از سطح مشخصی می شوند.
- هرگاه تراز آب مخزن از تراز مشخص یاد شده بالاتر رود، تأسیسات کنترل جریان های خروجی را تنظیم خواهند کرد.
- تأسیسات کنترل می توانند شامل یک آستانه، لبریز، روزنه و یا لوله های مجهز به دریچه باشند.
- در تعیین دبی عبوری از سرریز می بایست به تنگ شدگی ناشی از این تأسیسات توجه نمود.

کانال تخلیه

- پس از عبور جریان از تأسیسات کنترل، کانال تخلیه وظیفه هدایت جریان به پایین دست سد را بر عهده دارد.
- مسیر عبور جریان می تواند:
- بخشی از بدنه سد باشد که در مورد سرریز های اوجی جریان مستقیماً از روی بدنه سد بتنی تخلیه می شود.
- مجاری بسته ای که از زیر سد یا از داخل بدنه سد عبور می کنند.
- کانال های روبازی که می تواند در کناره سد احداث شود مانند سرریزهای شوت یا سرریزهای جانبی
- ترکیب انواع مختلف این مجاری تخلیه

تأسیسات پایاب

✓وقتی جریان توسط کانال تخلیه از داخل مخزن سد به پایین دست سقوط می کند، ارتفاع ایستایی آن تبدیل به انرژی جنبشی می شود. در پایاب می بایست تدابیری جهت جلوگیری از صدمات احتمالی ناشی از جریان های تخلیه شده پرفشار و با سرعت بالا را در پایاب اتخاذ نمود.

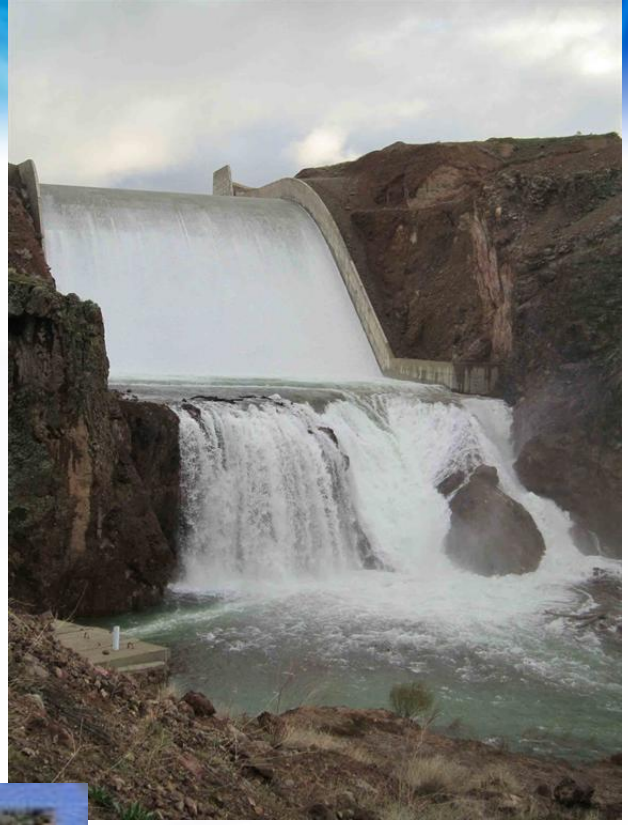
✓پرتاب جریان به فاصله ای دورتر از پی و بدنه سد با استفاده از سازه های جامی شکل یا کنسولی

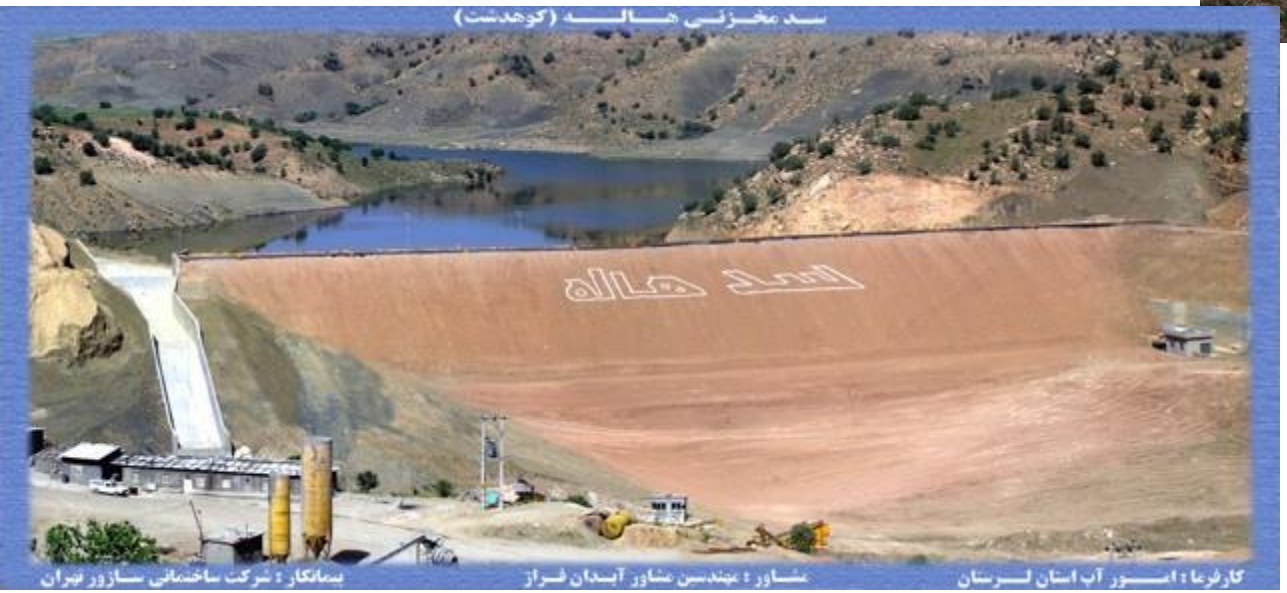
✓احداث حوضچه های آرامش و حوضچه های استغراق برای جلوگیری از فرسایش پایین دست

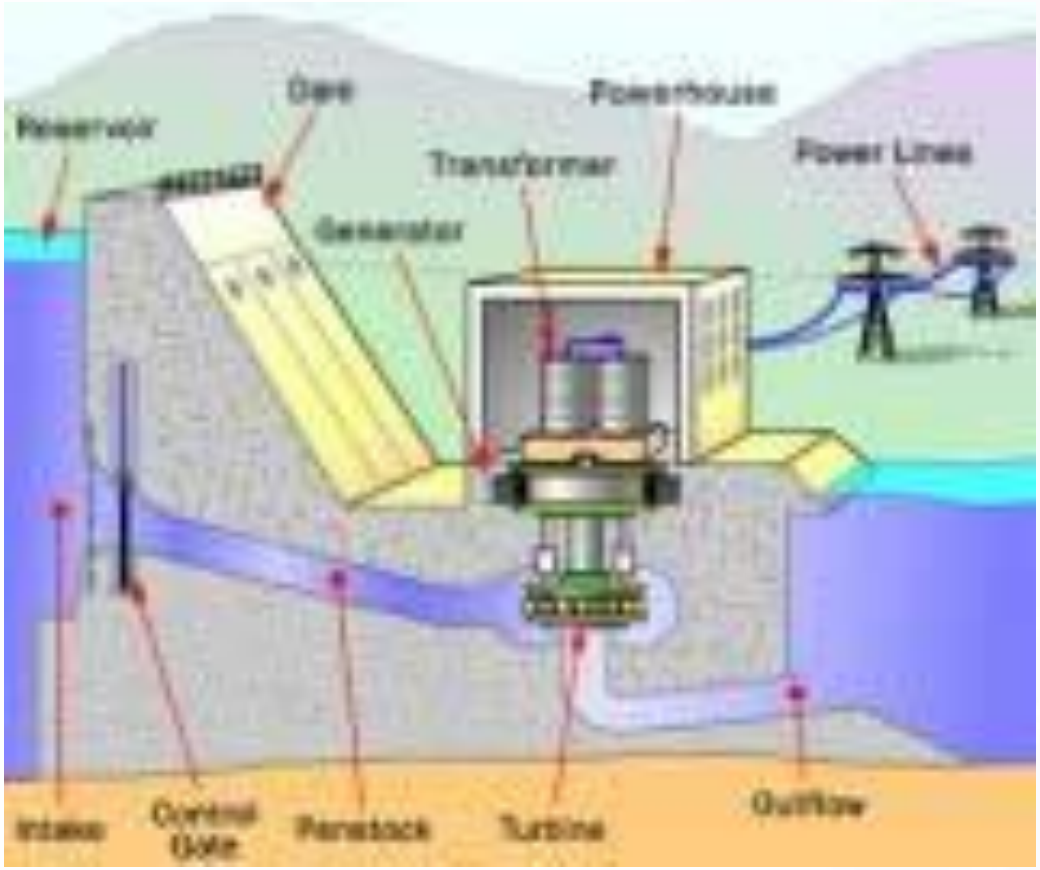
انتخاب دبی طراحی

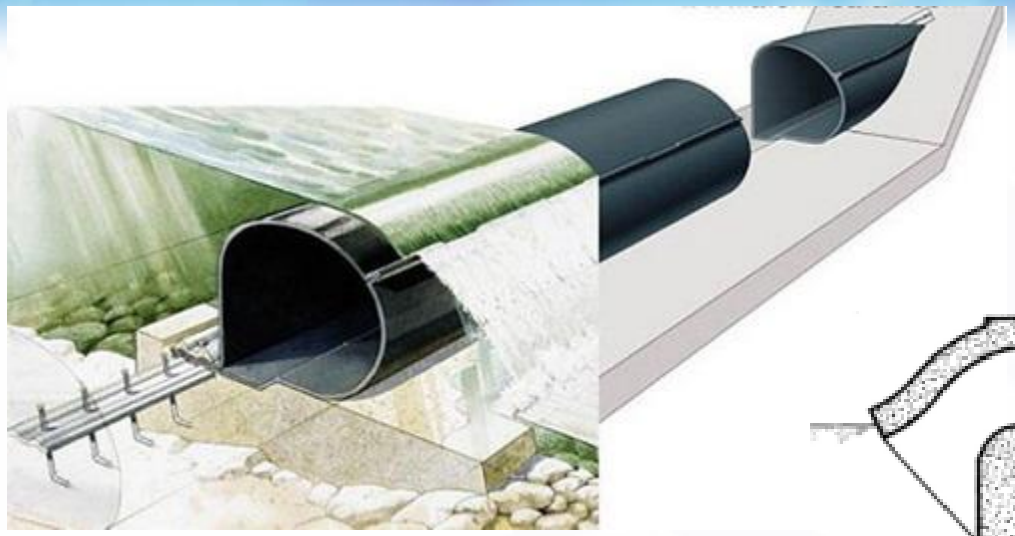
- انتخاب دبی طراحی بر اساس درجه اهمیت سد، دوره بازگشت سیلاب، موقعیت سد
- پیشنهادهای *USBR* برای ظرفیت سرریزها

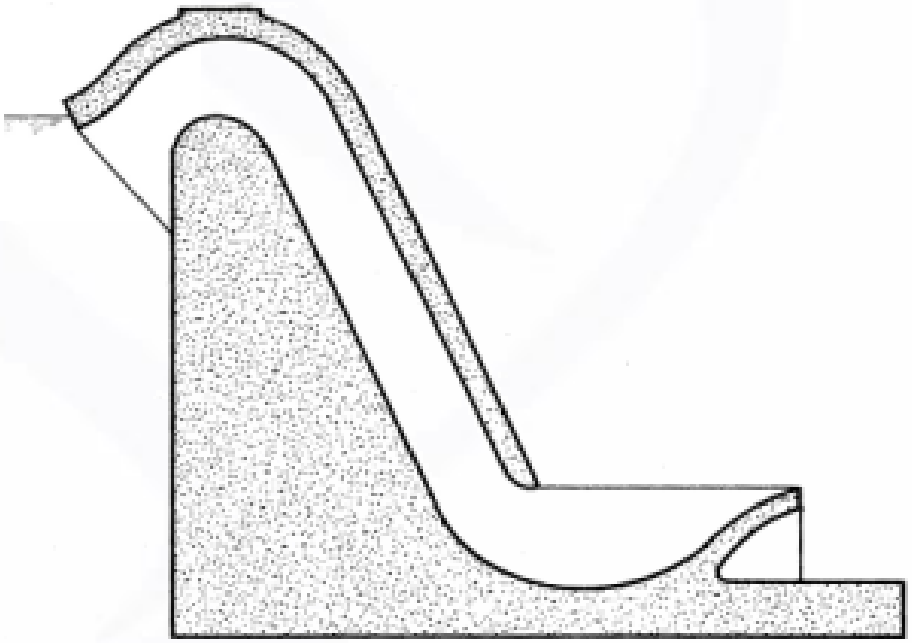
1. اگر شکست سد تلفات جانی به همراه داشته باشد، سرریز باید برای حداکثر دبی محتمل (*PMF*) طراحی شود.
2. اگر شکست سد باعث افزایش تلفات جانی نشده اما خسارات مالی سنگینی به بار آورد، سرریز باید برای سیلهای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰سال طراحی شود.
3. اگر شکست سد باعث افزایش تلفات جانی و خسارات مالی سنگینی نشود، میتوان سرریز را برای سیلاب های ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ساله طراحی نمود.
4. برای سدهای خاکی سیلاب های ۵۰ تا ۱۰۰ساله به عنوان دبی طراحی سرریزها مورداستفاده قرارمی گیرند.




سد مخزنی هالـــه (کوهدشت)
سد هاله
کارفرما : امـــور آب استان لـــرستان
مشاور : مهندسین مشاور آبیدان فراز
پیمانکار : شرکت ساختمانی سازور تهران


Reservoir
Dam
Powerhouse
Transformer
Power Lines
Generator
Intake
Control Gate
Penstock
Turbine
Outflow





طراحی سرریز اوجی

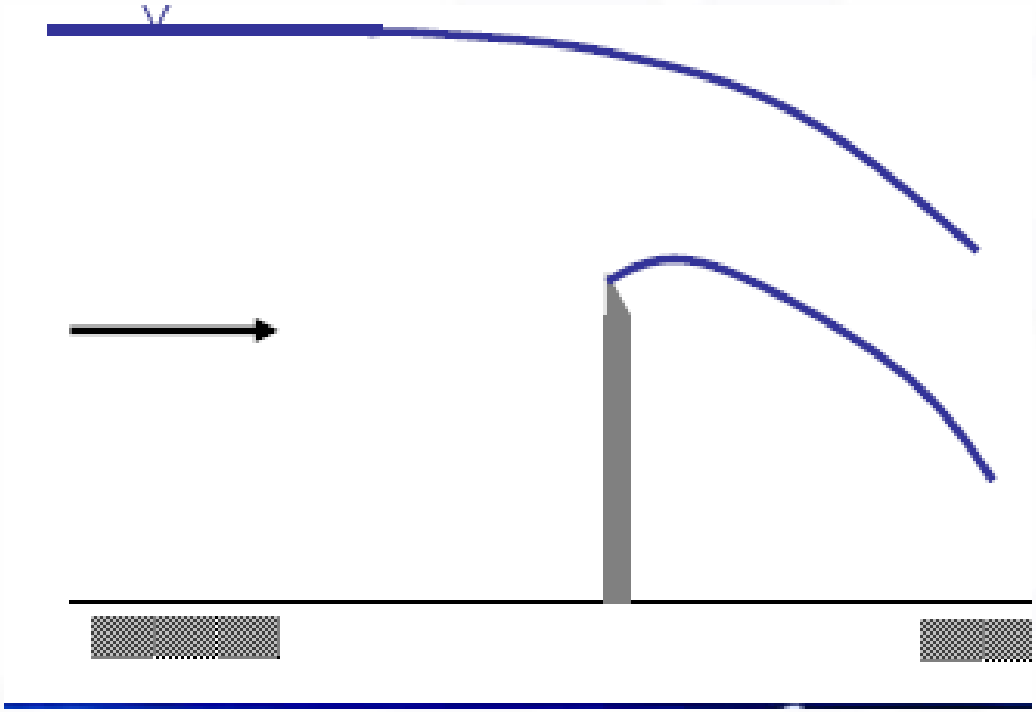
❑سرریز اوجی(Ogee Spillway)

❑از نوع سرریز های ادغام شده در بدنه سد که در سدهای بتنی و قوسی قابل احداث است.

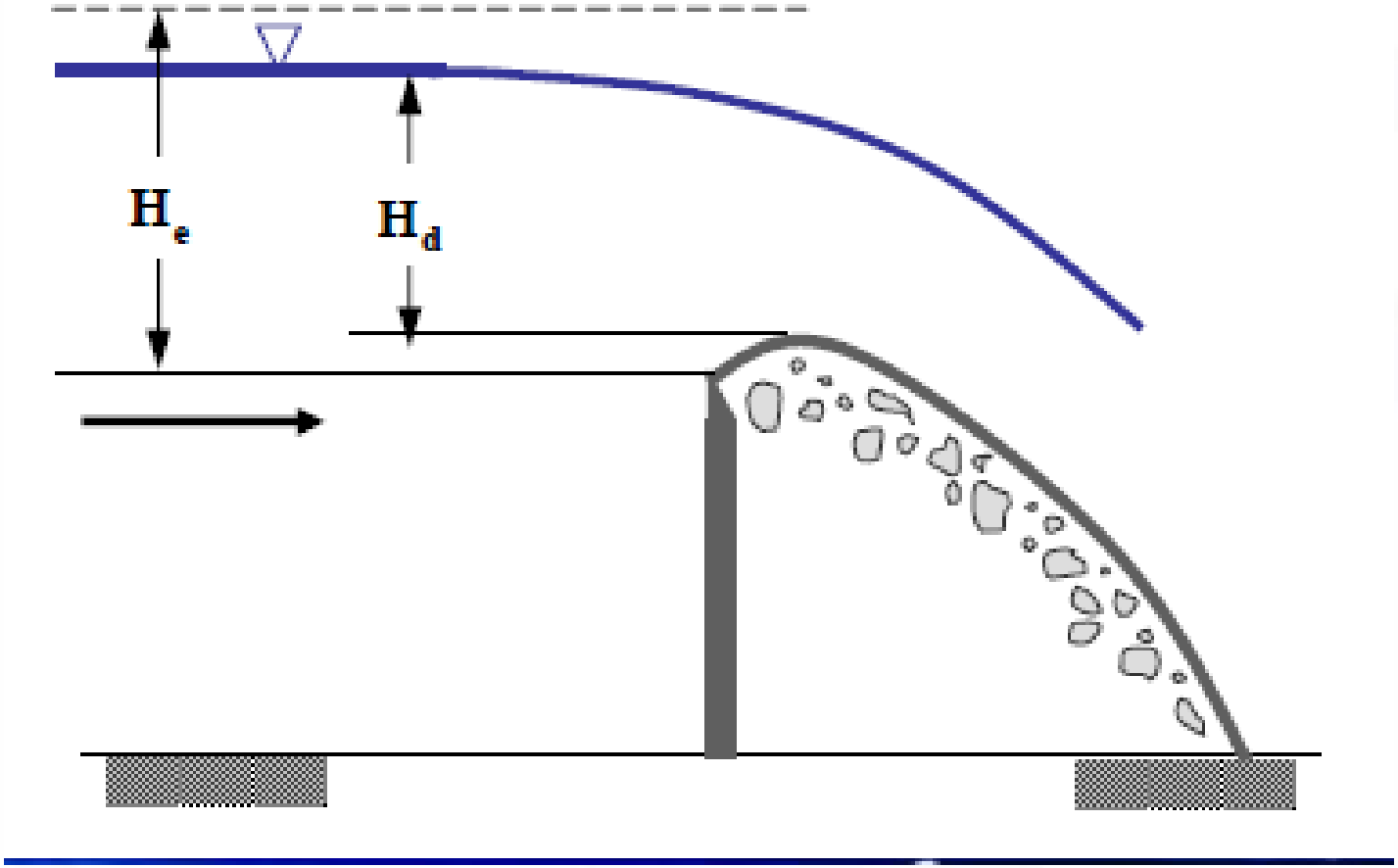
❑از مزیت های آن سهولت در طراحی و هزینه اجرای پایین آن است.

❑این سرریز ها طوری طراحی می شوند که پروفیل تاج و جلوی ساختمان آنها منطبق بر سطح زیرین آب لبریز شده از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با همان مشخصات مورد نیاز در بالادست سرریز اصلی باشد.

- معمول ترین و به عبارتی ارزان ترین سرریز، که می تواند مقدار زیادی از آب را از روی خود عبور دهد.
- اگر در یک مقطع مستطیلی جلوی مسیر آب را توسط سرریز لبه تیز به صورت زیر گرفته شود، پروفیل جریان عبوری از روی سرریز به صورت زیر می باشد.
- چنانچه سرریز بتنی درست همانند منحنی زیرین توده جریان ساخته شود، سرریز ایده آل به دست خواهد آمد و فشار روی تاج سرریز معادل فشار اتمسفر است.



- اگر ارتفاع آب روی سرریز (H_d) افزایش یابد. جریان از روی سرریز کنده شده و در نتیجه فشار روی تاج سرریز منفی می شود که این امر می تواند لرزش در سازه و خوردگی بتن بدنه را موجب شود.
- اگر ارتفاع آب روی سرریز (H_d) کاهش یابد. مسیر جریان روی بدنه سرریز می خوابد و در نتیجه مقدار اصطکاک بیشتری تولید می کند که در این صورت افت انرژی در مسیر افزایش می یابد.

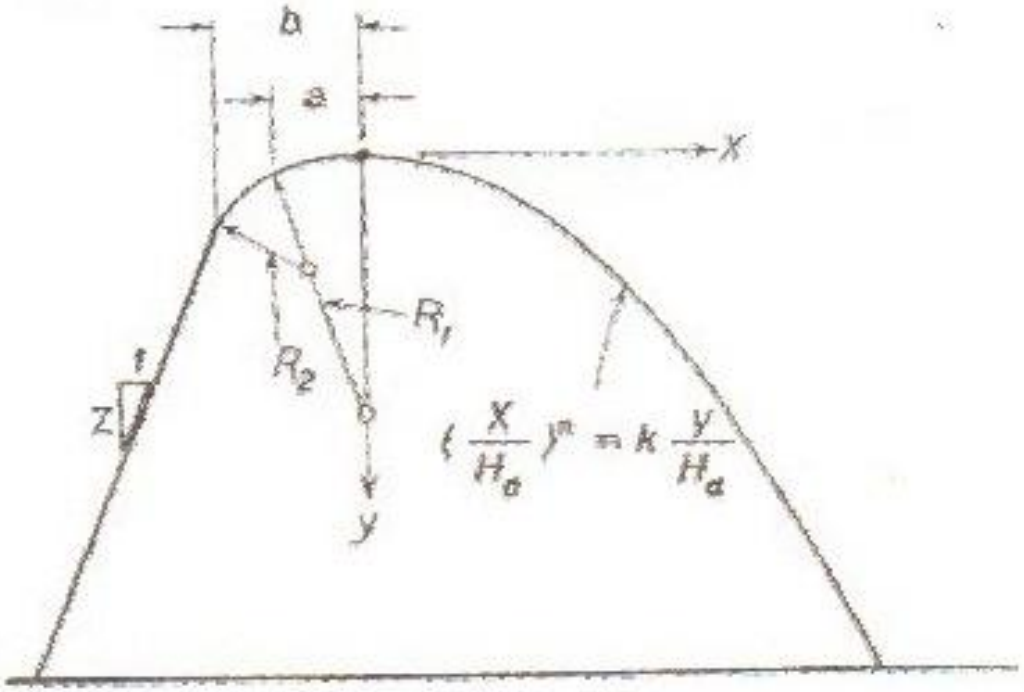

H_e
H_d

- در آزمایشگاه های USBRمطالعات زیادی جهت تعیین پروفیل سرریزهای آزاد انجام شده است و نتیجه تحقیقات به صورت شکل زیر ارائه گردیده است.
- چنانچه در حالت کلی پروفیل زیر را برای سرریز در نظر گرفته شود، منحنی جلوی سرریز می تواند به صورت رابطه زیر تعریف شود:

$$\left(\frac{X}{H_d}\right)^n = K\frac{y}{H_d}$$

- که در آن n و k اعداد ثابتی هستند که مقادیر آنها بستگی به شیب وجه بالادست و سرعت تقرب و ارتفاع طرح دارد.
- این منحنی تا نقطه ای ادامه خواهد داشت که مماس بر شیب پایین دست جلو سرریز گردد و این شیب خود بر اساس پایداری عومی سازه تعیین می گردد

پارامترهای پروفیلهای جلو و تاج سرریز



پارامترهای پروفیلهای جلو و تاج سرریز

z	n	K	R_1	R_2	a	b
∞	1.850	2.000	$0.50H_d$	$0.20H_d$	$0.175H_d$	$0.282H_d$
3	1.836	1.936	$0.68H_d$	$0.21H_d$	$0.139H_d$	$0.237H_d$
1.5	1.810	1.939	$0.48H_d$	$0.22H_d$	$0.115H_d$	$0.214H_d$
1	1.776	1.873	$0.45H_d$	0	$0.119H_d$	$0.119H_d$

دبی جریان از روی یک سرریز اوجی بدون کنترل

رابطه تعیین دبی جریان از روی سرریز اوجی

$$Q = c.L_e.H_e^{\frac{3}{2}}$$ **ضریب تخلیه سرریز C**

$$H_e = H_d + \frac{V_o^2}{2g}$$ **ارتفاع معادل انرژی بالای تاج سرریز H_e**

عرض مؤثر تاج سرریز L_e

$$L_e = L - 2(NK_p + K_a)H_e$$

✓**با توجه به وجود تکیه گاه ها و پایه های پل و دریچه در لبه تاج سرریز، ضروری است برای محاسبه دبی عبوری از روی تاج، عرض مؤثر تاج را از رابطه زیر محاسبه نمود.**

Le: طول مؤثر تاج سرریز

L: طول واقعی تاج

N : تعداد پایه های پل احتمالی

K_p : ضریب فشردگی پایه های پل

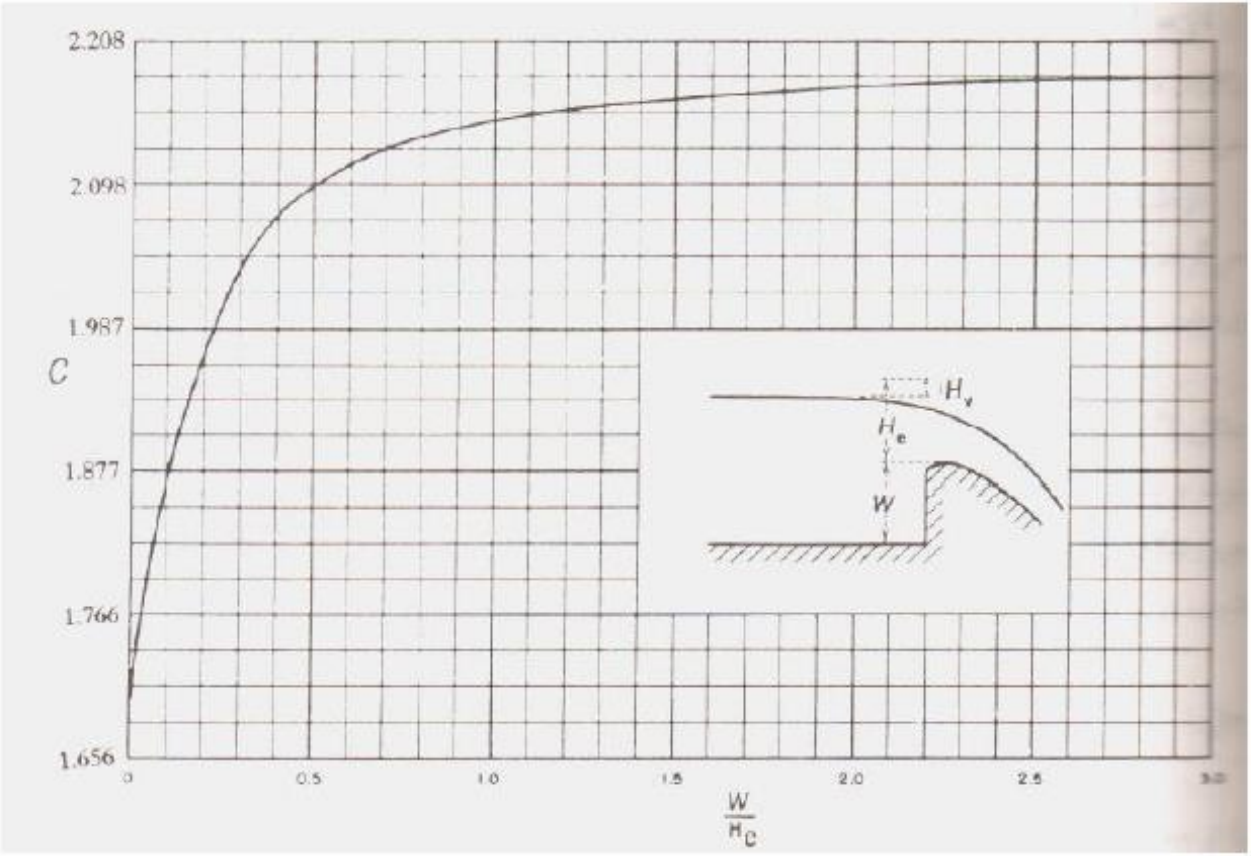
K_d: ضریب فشردگی تکیه گاه ها (دو انتهای تاج)

تعیین ضریب تخلیه(C)

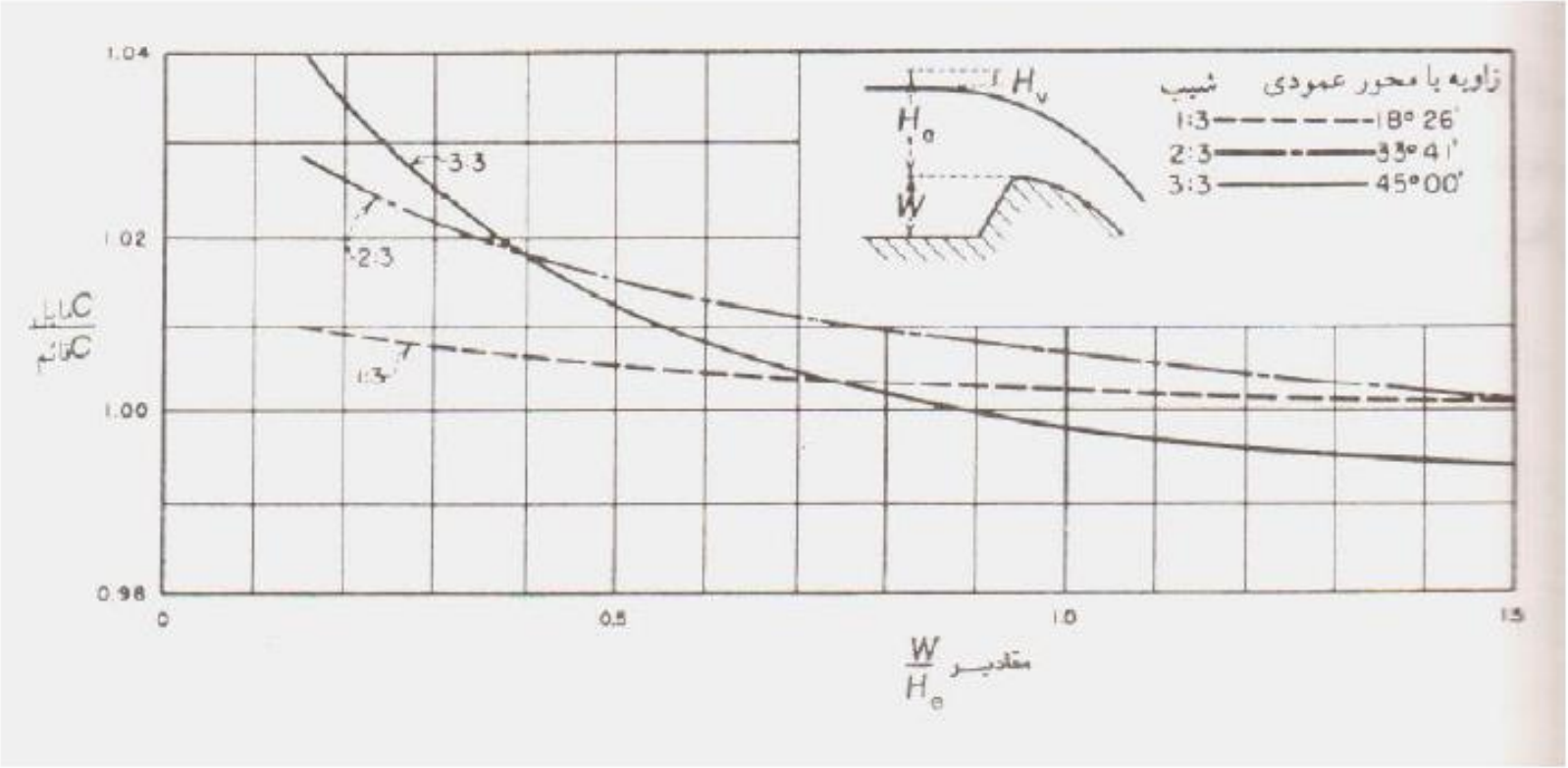
- این مقدار از حدود 1.6 تا2.2 تغییر می کند و تابعی است از W ،He ،Hd
- برای تعیین ضریب C چنانچه وجه بالادست ضریب، قائم باشد، از نمودار شماره (۱) استفاده می شود.
- همانطور که در نمودار مشخص است، چنانچه $\frac{W}{He} > 1.33$ باشد، مقدار C ثابت و برابر 2.2می باشد که در این صورت سرریز از نوع بلند بوده و از hvصرف نظر شده و $H_e=H_d$ فرض می گردد.

$$h_v = \frac{V_o^2}{2g}$$

❑در صورتی که وجه بالادست زاویه دار باشد، این ضریب با استفاده از نمودار شماره(۱) اصلاح می شود.



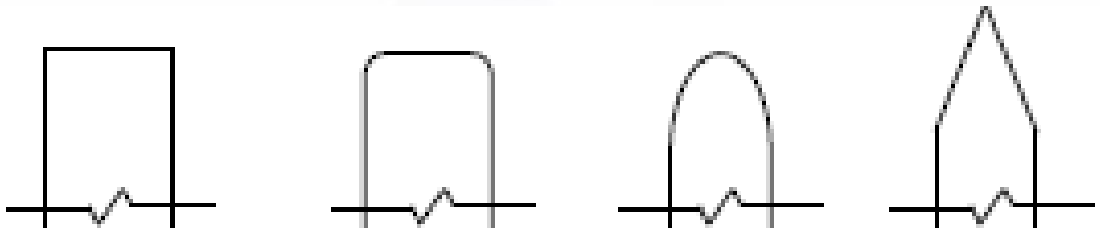
نمودار۱. تغییرات C بر حسبW/Heبرای سرریز قائم



نمودار2. تغییرات C برای سرریز با شیب های متفاوت در بالادست

تعیین ضریب فشردگی پایه های پل و تکیه گاه ها

ضریب فشردگی پایه‌ها



مثلث تیز	نیم‌دایره	مستطیل گرد گوشه	مستطیل راست گوشه
$K_p=0.0$	$K_p=0.01$	$K_p=0.02$	$K_p=0.1$

ضریب فشردگی تکیه‌گاه‌ها

شکل و شرایط تکیه‌گاه‌ها	K_d
تکیه‌گاه‌های گرد شده با $r \geq 0.5H_e$ و زاویه دیواره کانال تقرب کمتر از 45°	0.00
تکیه‌گاه‌های گرد شده با $0.5H_e \geq r \geq 0.15H_e$ و زاویه دیواره کانال تقرب معادل از 90°	0.10
تکیه‌گاه قائمه و زاویه تقرب معادل از 90°	0.20

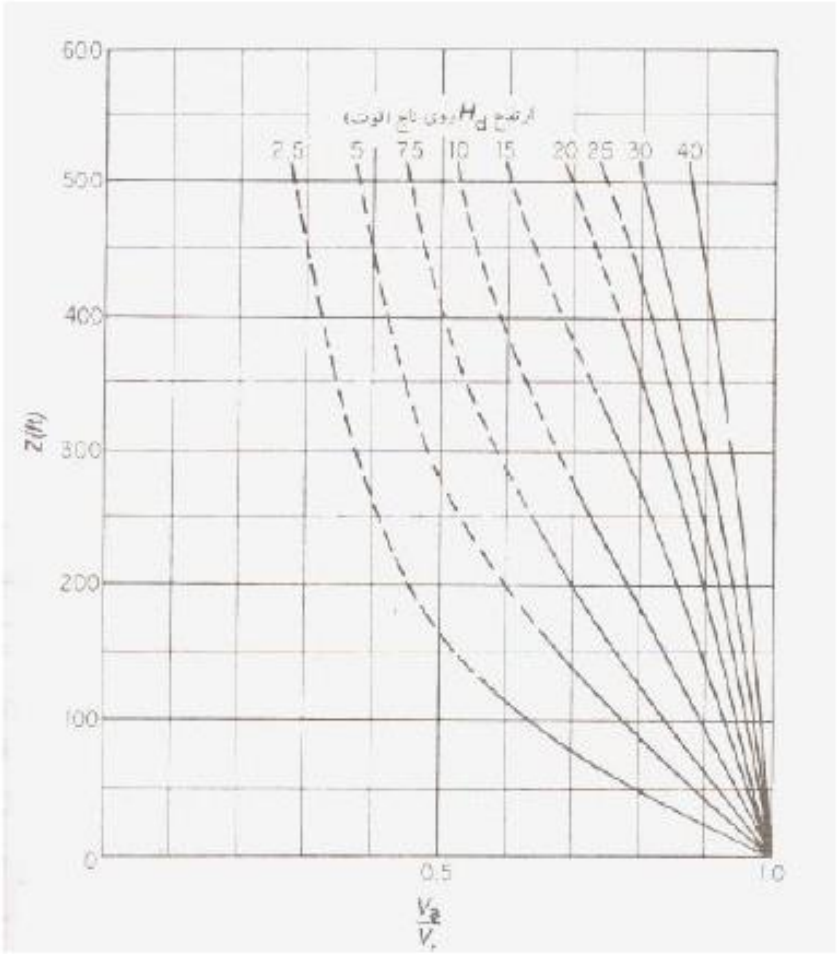
سرعت در پای سرریز

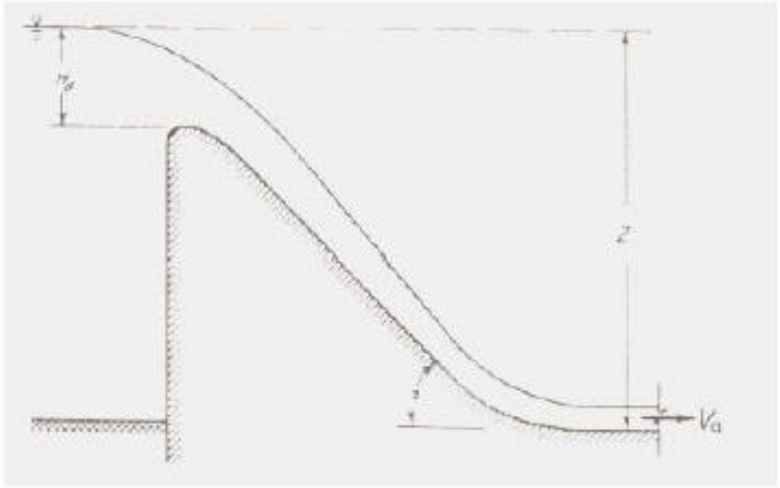
- تعیین سرعت آب در پای سرریز و پس از عبور از روی بدنه آن اهمیت زیادی دارد.
- با تعیین این مقدار می توان در محاسبه عدد فرود جریان و نیز طرح حوضچه آرامش بهره برد.
- جریان در بخشی از سرریز به صورت جریان متغیر تدریجی بوده و نیز افت انرژی های مختلفی در طول سرریز رخ می دهد که باعث بروز پیچیدگی هایی در محاسبه سرعت می شود.

- سرعت تئوری در پایین دست سرریز از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_t = \sqrt{2g\left(Z - \frac{H_d}{2}\right)}$$

- در سال ۱۹۵۷Peterka و *Bradely* ضمن تحقیقات وسیعی که در این زمینه انجام دادند، نتایج خود را در قالب نموداری جهت تقریب زدن سرعت حقیقی بر اساس سرعت تئوری ارائه دادند.

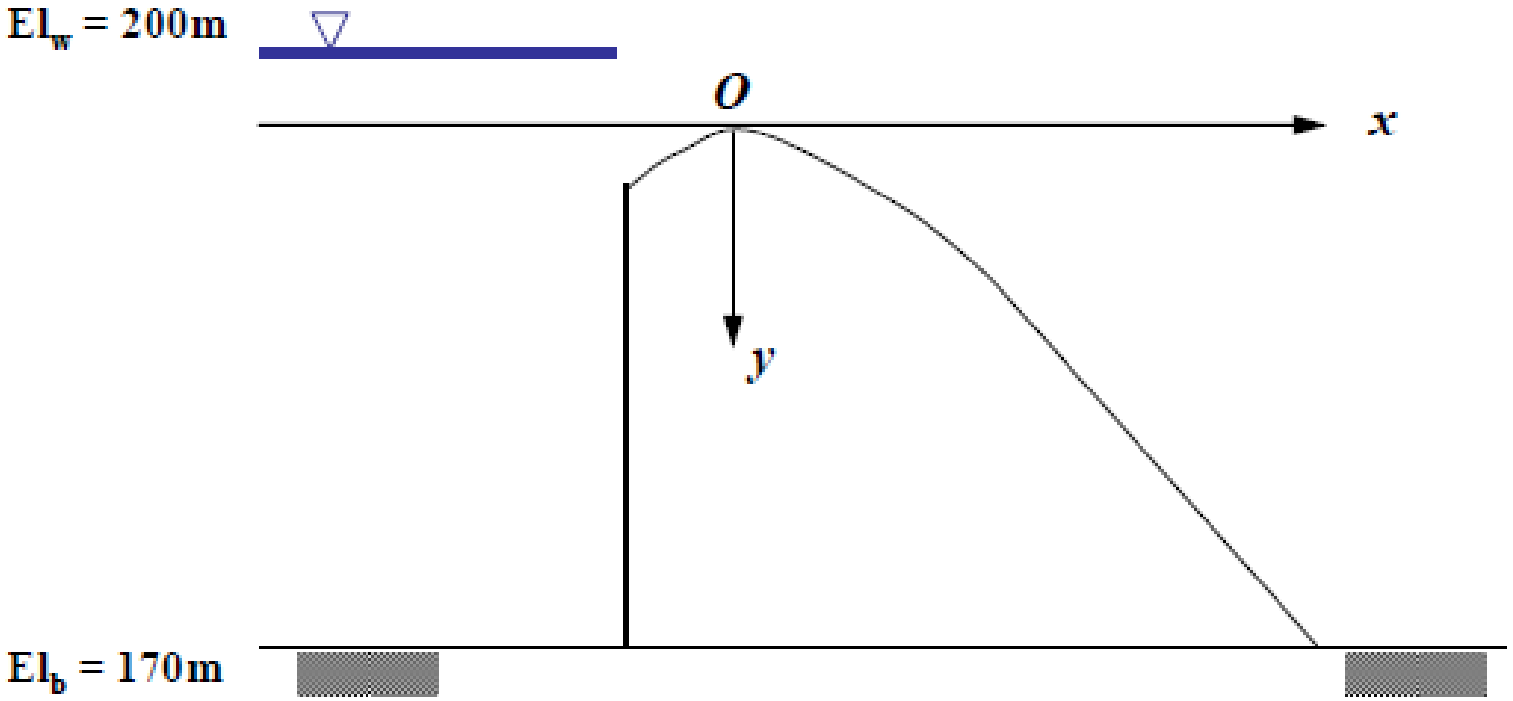




سرعت در پای سرریز

مثال

مطلوب است تعیین ارتفاع تاج و طرح پروفیل یک سرریز اوجی که در بالادست قائم بوده و بتواند دبی معادل $2000 m^3/s$ را از طول تاج خود که برابر70m می باشد، عبور دهد در صورتی که تراز حداکثرآب در زمان این دبی برابر200mو تراز پاشنه سرریز170m باشد. حداکثر شیب در پایین دست1:07 بوده و C=2فرض می شود. کناره های تاج گردگوشه هستند.


El$_w$ = 200m
O
x
y
El$_b$ = 170m

با توجه به صورت مسأله $N=0$ و $K_a=0.1$ انتخاب می شود.

$$Q = CL_e H_e^{3/2} \qquad L_e = L - 2(NK_p + K_a)H_e$$

$$L_e = 70 - 0.2H_e \Rightarrow 2000 = 2(70 - 0.2H_e)H_e^{3/2} \Rightarrow H_e = 5.955m$$

$$L_e = 70 - 0.2 \times 5.955 = 68.81m$$

$$y_{up} = EL_w - EL_b = 200 - 170 = 30m$$

$$V_0 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{y_{up} \times L_e} = \frac{2000}{68.81 \times 30} = 0.969\, m/s$$

$$h_v = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{0.969^2}{2 \times 9.81} = 0.048m$$

$$H_d = H_e - h_v = 5.955 - 0.048 = 5.907m$$

$$W = 30 - 5.907 = 24.093m$$

- طول مؤثر تاج سرریز
- عمق آب در بالادست سرریز
- سرعت در بالای تاج سرریز
- ارتفاع معادل سرعت
- ارتفاع آب بالای سرریز
- ارتفاع سرریز از قله تاج

طرح پروفیل سرریز در پایین دست تاج

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

$$n = 1.85 \quad , \quad K = 2$$

$$\Rightarrow \quad \left(\frac{x}{5.907}\right)^{1.85} = 2\frac{y}{5.907} \quad \Rightarrow \quad y = 0.11x^{1.85}$$

در نقطه Aدو پروفیل می بایست بر هم منطبق گردند بنابراین شیب دو پروفیل در آنجا می بایست با یکدیگر برابر باشند.

$$m_{Line} = \frac{1}{0.7} \qquad m_{Curve} = \frac{dy}{dx} = 0.11 \times 1.85 x^{0.85}$$

$$m_{Line} = m_{Curve} \Rightarrow x = 9.90m \quad , \quad y = 7.65m$$

بنابراین از نقطه O تا Aپروفیل جلوی سرریز دارای معادله تعریف شده است و از نقطه Aپروفیل به صورت خط مستقیم با شیب خواسته شده ادامه می یابد. برای رسم پروفیل O تا Aکافی است تا مختصات نقاط مختلف محاسبه گردد.

مختصات نقاط مختلف از پروفیل سرریز

	نقطه O									نقطه A
x (m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	9.9
y (m)	0.11	0.40	0.84	1.43	2.16	3.03	4.03	5.15	6.41	7.65

تعیین منحنی تاج در بالادست :با استفاده از معادله پیشنهادی Cassidy یا از جدول ارائه شده

$$R_1 = 0.5H_d = 2.95m$$

$$R_2 = 0.2H_d = 1.18m$$

$$a = 0.175H_d = 1.03m$$

$$b = 0.282H_d = 1.67m$$

سرعت تئوری:

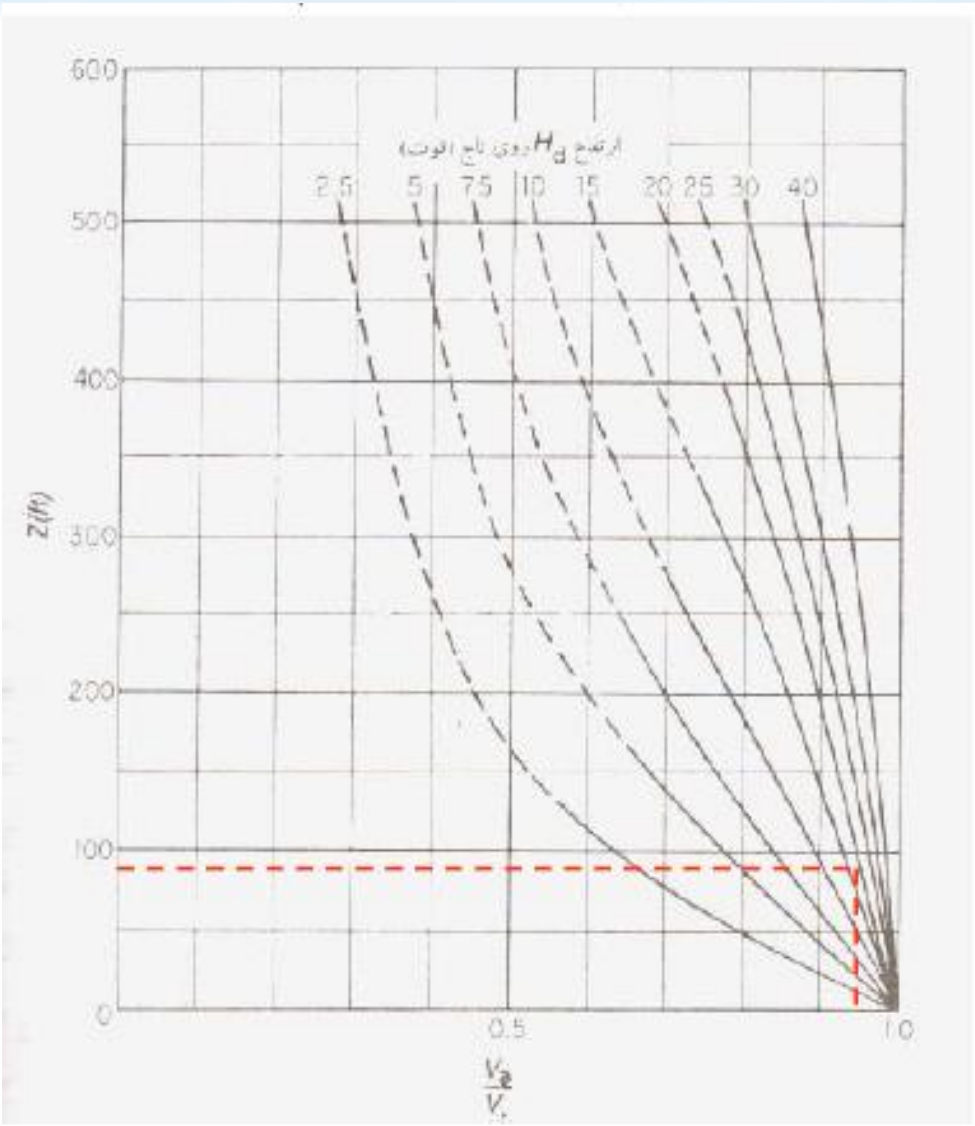
$$V_t = \sqrt{2g\left(Z - \frac{H_d}{2}\right)} = \sqrt{2 \times 9.81 \times \left(30 - \frac{5.907}{2}\right)} = 23.04\,m/s$$

$$Z = 30m = 98.43\,ft$$

$$H_d = 5.907m = 19.38\,ft$$

$$\frac{V_a}{V_t} = 0.94$$

سرعت واقعی



$$V_a = 21.66\, m/s$$

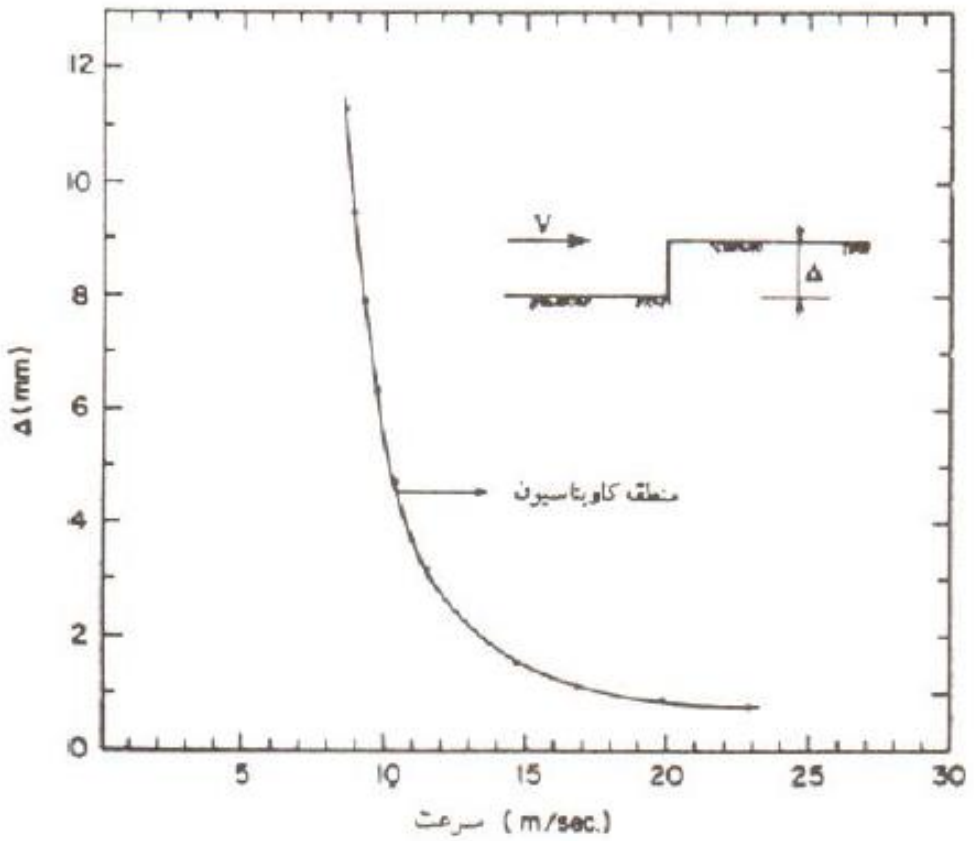
✓سرعت زیاد بر روی سطوح بتنی سرریزها، می تواند باعث ایجاد خرابی ناشی از کاویتاسیون گردد.

✓برجستگی ها و ناصافی های سطح بتنی که به هنگام ساخت و یا پس از آن ایجاد می شود، باعث ایجاد انحراف خطوط جریان و نیز تشکیل مناطق کم فشار در برخی نقاط می گردد که چنانچه این فشار کم به حد فشار تبخیر برسد، پدیده کاویتاسیون رخ می دهد.

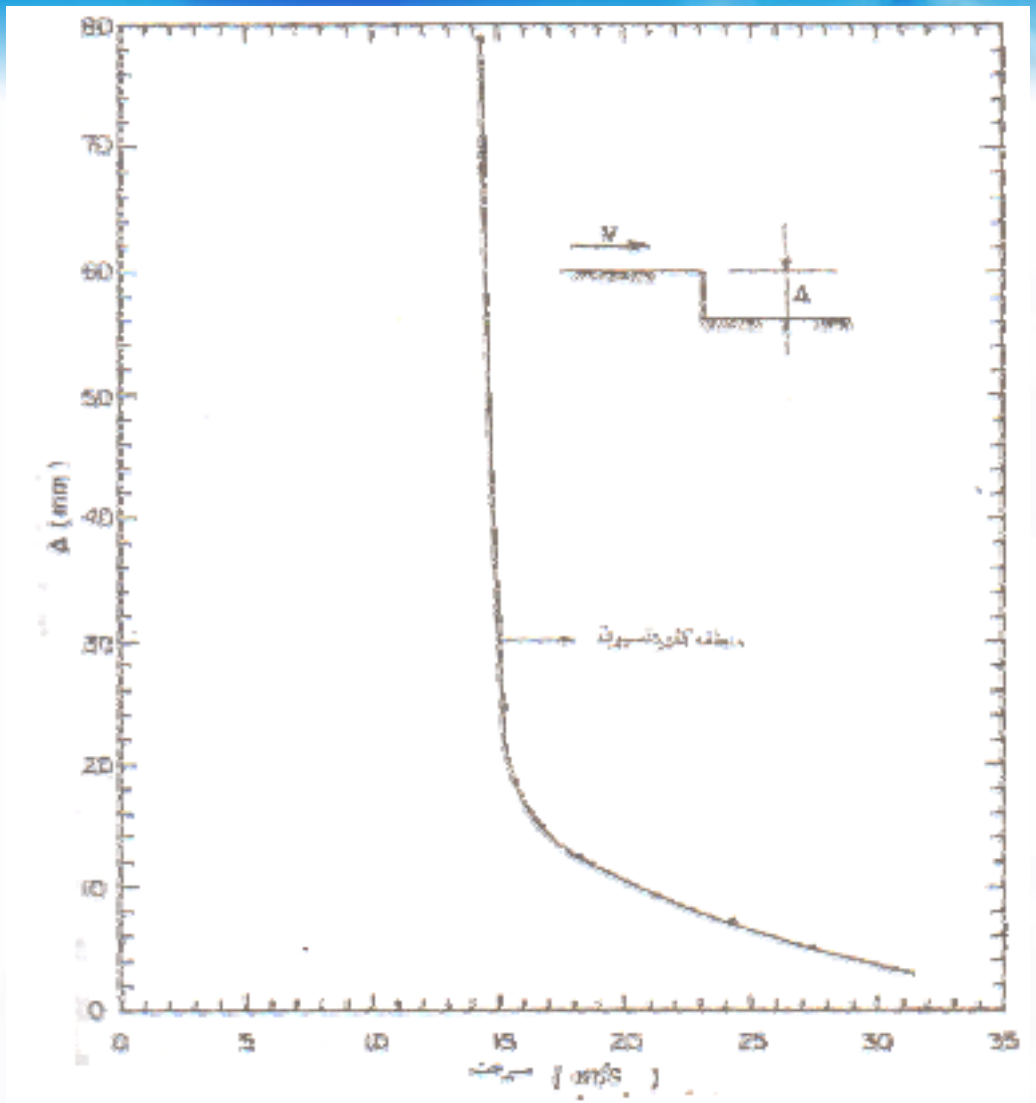
✓اگرچه استفاده از بتن با مقاومت بالا، مانع از خرابی ناشی از سرعت های بالا می شود اما در صورت به وقوع پیوستن پدیده کاویتاسیون، چنین شرطی نیز قادر به ممانعت از خرابی های ناشی از آن نمی شود.

✓برای جلوگیری از چنین صدماتی، می بایست امکان ایجاد کاویتاسیون در یک سرعت خاص در حین طراحی و یا در ضمن اجرا و حتی حین مرمت سرریز، بررسی گشته و با تخمین نسبتا دقیق سرعت، میزان زبری مطلق مورد نیاز را به دست آورد.

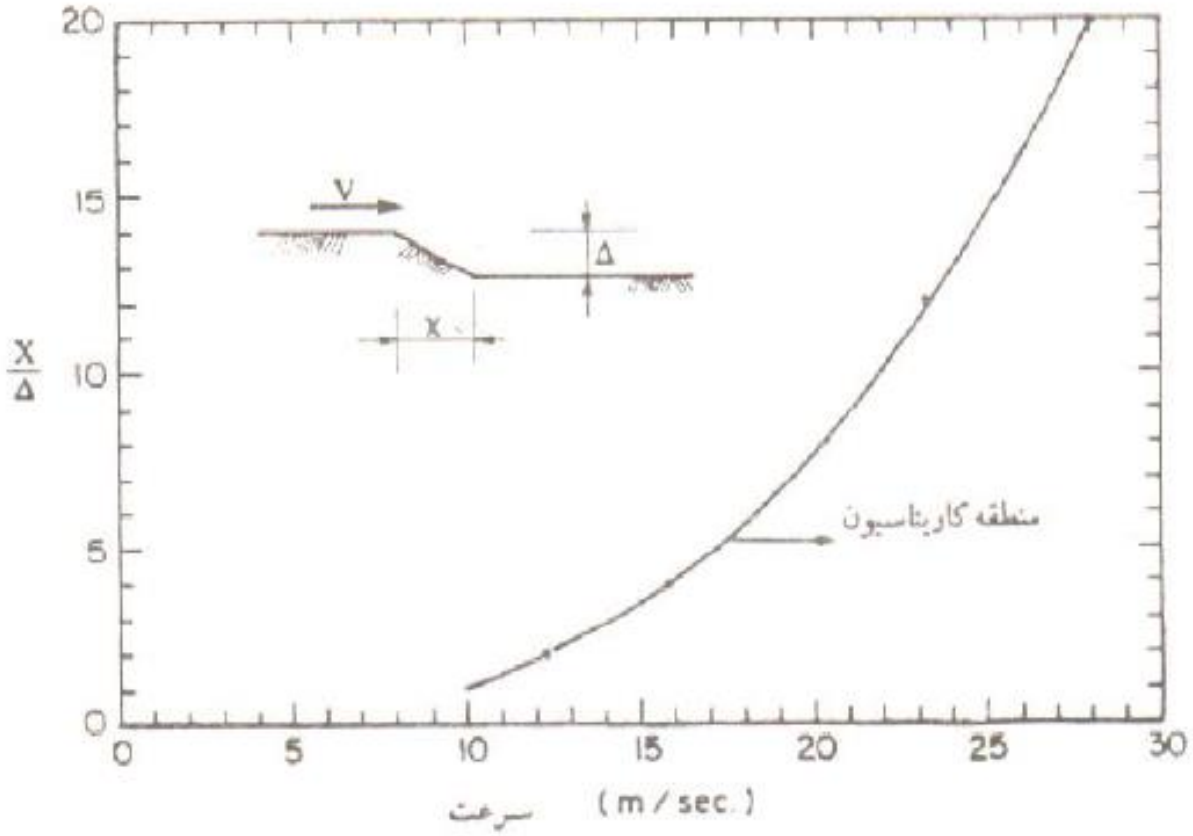
✓تحقیقات زیادی در مورد امکان ایجاد پدیده کاویتاسیون در اثر جریان بر روی سطوح غیرمسطح انجام شد که نتایج آن در ادامه آورده شده است.



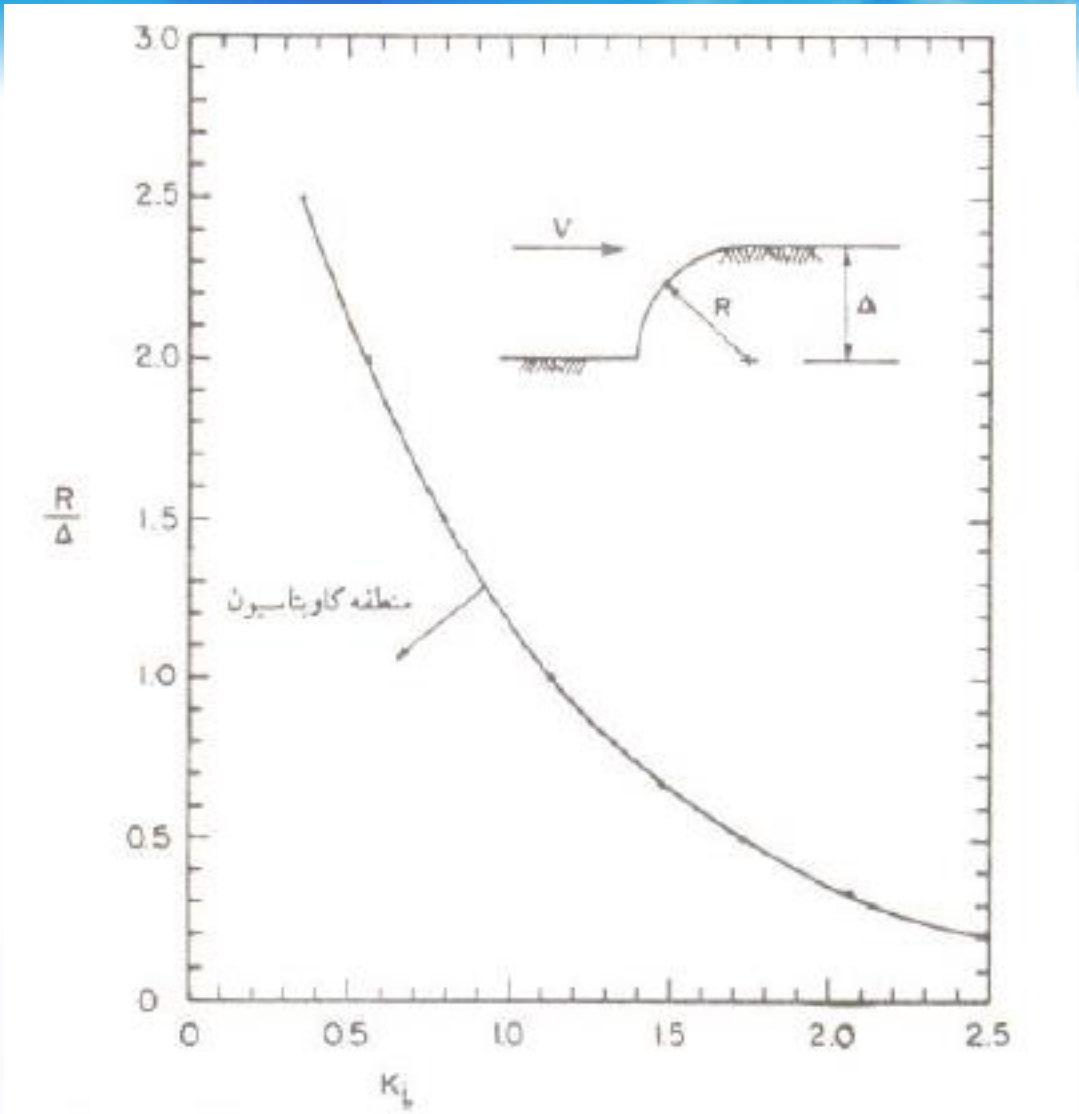
کاویتاسیون اولیه برای جریان روی برجستگی ها (*Ball*,۱۹۷۵)



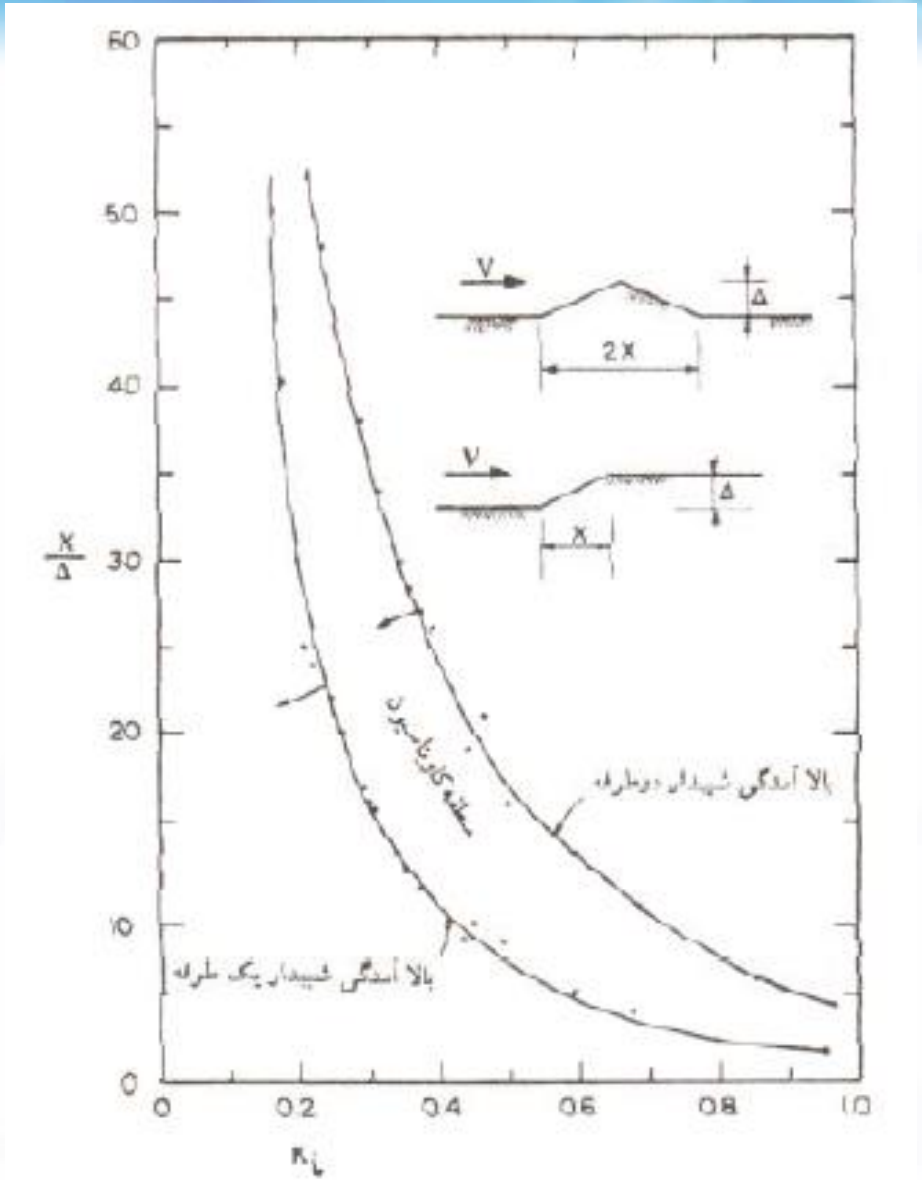
کاویتاسیون اولیه برای جریان برای فرورفتگیهای ناگهانی (*Johnson*,۱۹۶۳)



کاویتاسیون اولیه برای فرورفتگی شیبدار (*Ball*,۱۹۷۵)



کاویتاسیون اولیه برای فرورفتگی شیبدار (*Ball*,۱۹۷۵)



کاویتاسیون اولیه برای بالاآمدگی شیبدار (*Wang & Chou*,۱۹۷۹)

معرفی شاخص کاویتاسیون *Ki*

نتایج *Wang* و *Chou*.

$$K_i = \frac{H_a + H + H_r + H_v}{V_0^2 / 2g}$$

- ✓ H_a ارتفاع معادل فشار اتمسفریک
- ✓ H ارتفاع معادل فشار استاتیکی آب
- ✓ H_v ارتفاع معادل فشار تبخیر
- ✓ H_r ارتفاع معادل فشار گریز از مرکز
- ✓ V_0 سرعت در نزدیکی بالای تغییر فشار

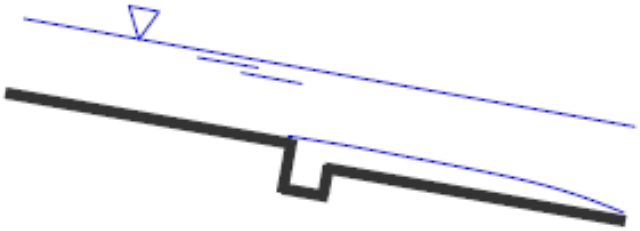
فشار گریز از مرکز

$$H_r = \frac{V_o^2 y}{gR}$$

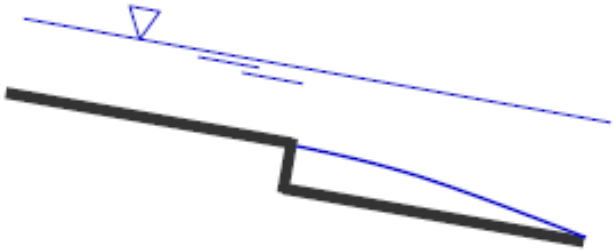
- ✓ Yعمق جریان در جهت عمود بر افق
- ✓ Rشعاع قائم مربوط به انحناء سطح سرریز

راهکارهای کنترل کاویتاسیون

- با توجه به موارد عنوان شده، هوادهی سرریزها برای جلوگیری از صدمات ناشی از کاویتاسیون در سرعت بالا، امری مهم به نظر می رسد.
- با تزریق یک سیال تراکم پذیر(هوا) با غلظت 6 تا ۸ درصد در داخل آب، اثرات تخریبی تا حد زیادی از بین می رود.
- گزارشات فنی از برخی سدهای بزرگ نشان می دهد که استفاده از شیار (شکاف) و سطوح شیبدار برای وارد کردن هوا به داخل آب در جریان های سریع، با موفقیت همراه بوده است.



فرورفتگی ناگهانی با گالری هوا



فرورفتگی ناگهانی کف

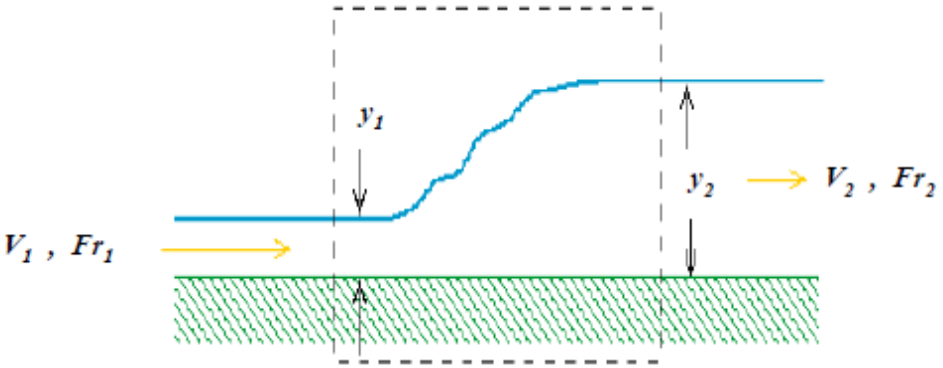
حوضچه آرامش

پرش هیدرولیکی

✓پرش هیدرولیکی از نوع جریان های متغیر سریع است که عبارت است از تغییر حالت جریان از فوق بحرانی($y<yc$) به زیربحرانی($y>yc$).

✓دو نمونه از وقوع آنها:

- در پایین دست سرریزها
- در جایی که شیب کانال به ناگهان کم می شود.



پرش هیدرولیکی

برای آنالیز پرش هیدرولیکی از قانون بقای مومنتم استفاده می شود

$$\frac{y_1^2}{2}+\frac{q^2}{gy_1}=\frac{y_2^2}{2}+\frac{q^2}{gy_2}$$

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_1^2}-1\right)$$

$$\frac{y_1}{y_2}=\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_2^2}-1\right)$$

به طور جبری می توان نوشت

$$E_1=\frac{(y_2-y_1)^3}{4y_1y_2}$$

$y_1 < y_c$ عمق اولیه (جریان فوق بحرانی)

$y_2 > y_c$ عمق ثانویه (جریان زیر بحرانی)

میزان افت در طول پرش عبارت است از:

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_1}{2}\right)^2 + \frac{2V_1^2 y_1}{g}}$$

کنترل پرش هیدرولیکی

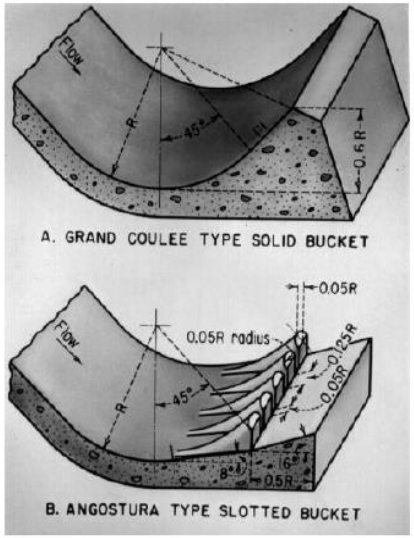
- برای جلوگیری از خسارات ناشی از انرژی فوق العاده آب در سرعت های فوق بحرانی و نیز به منظور از بین بردن انرژی اضافی جنبشی موجود در چنین آبی، عموماً لازم است از سازه های خاصی به نام انرژی گیرنده (*Energy Dissipater*) که در پایین دست جریان ساخته می شوند استفاده نمود.
- وظایف عملکردی آنها:
  - از بین بردن انرژی آب
  - کنترل و مهار پرش هیدرولیکی
  - به وجود آوردن شرایط جهت وقوع آن در یک موقعیت مکانی خاص

کنترل پرش هیدرولیکی

❑روش های کلی از بین بردن انرژی:

•استفاده از تبدیل های موضعی یا ابزار دیگر که باعث ایجاد آشفتگی جدی در جریان می شود.

•پرتاب آب به یک نقطه دوردست که باعث تکه شدن آب به اجزای کوچکتر شده و در برخورد با هوا و برگشت آن به آب مقدار زیادی از انرژی خود را از دست می دهد.



سازه کاهنده انرژی – باکت مستغرق

حوضچه آرامش (Stilling Basin)

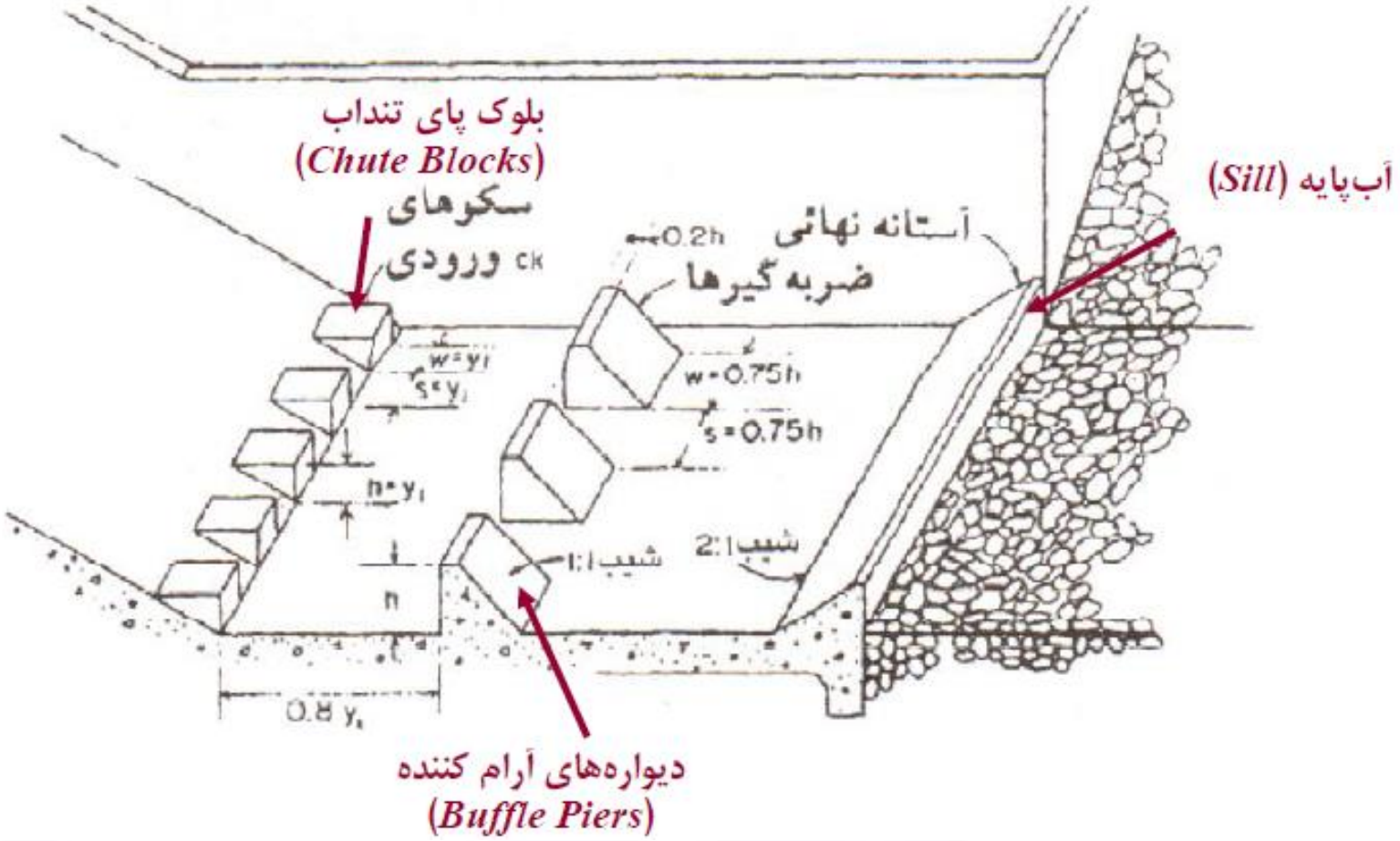
- حوضچه آرامش، قسمت کوتاهی از یک کانال کف سازی شده است که به صورت سازه ای خاص در انتهای سرریزها یا هر منبع دیگری که جریان فوق بحرانی ایجاد کند، ساخته می شود.
- هدف از ساخت آن معطوف است به تشکیل پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه
- جریان فوق بحرانی قبل از رسیدن به قسمت های غیر کف سازی شده رودخانه به جریان زیربحرانی تغییر حالت داده و از انرژی فوق العاده آن کاسته شده و از خرابی های احتمالی جلوگیری می گردد.
- هر حوضچه بر حسب شدت پرش، به اجزایی نیاز دارد که ضمن شکل دادن پرش در یک موقعیت و محل خاص، تا حد امکان از طول آن نیز بکاهد.

اجزای تشکیل دهنده حوضچه آرامش

•آب پایه(*Sill*): به صورت دندانه ای (*Dentated Sill*) یا منفرد (*Solid Sill*) در انتهای حوضچه ساخته می شود. آب پایه باعث کاهش بیشتر طول پرش و کنترل موقعیت آن می شود. در حوضچه های بزرگ و به علت پخش جتی که دارای سرعت زیاد است و به انتهای حوضچه رسیده، به صورت دندانه دار ساخته می شود.

•بلوک های پای تنداب (*Chute Blocks*): در محل تغییر شیب و در ابتدای کف افقی حوضچه ساخته شده و هدف از ساخت آنها کوتاه کردن طول و پایدار نمودن پرش است.

•دیواره های آرام کننده (*Baffle Piers*): (بلوک کف) در قسمت میانی حوضچه کار گذاشته شده و هدف آن اتلاف انرژی به صورت متمرکز و یکجا است. بیشتر در سرعت های پایین کاربرد دارند. در سرعت های بالا می تواند ایجاد پدیده کاویتاسیون را تشدید کند.



اجزای کلی تشکیل دهنده حوضچه آرامش

انواع متعارف حوضچه های آرامش

- حوضچه آرامش *SAF*
- حوضچه های آرامش *USBR*
  - حوضچه های آرامش *USBR I*
  - حوضچه های آرامش *USBR II*
  - حوضچه های آرامش *USBR III*
  - حوضچه های آرامش *USBR IV*

حوضچه آرامش SAF

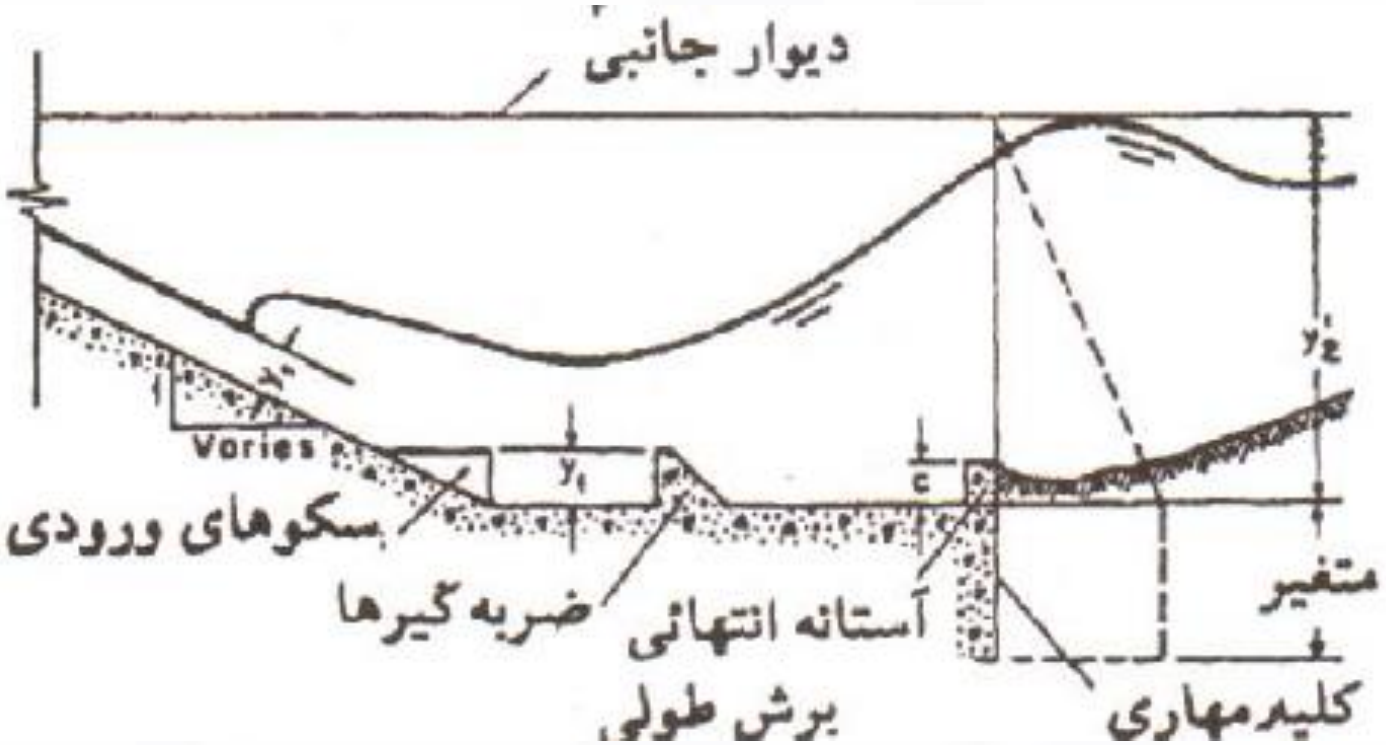
✓یکی ازمشهورترین انواع حوضچه آرامش است که در سال ۱۹۴۸ در آزمایشگاه *St. Anthony Falls (SAF)* در دانشگاه *Minnesota* طراحی گردید

✓اجزای سازه حوضچه : بلوک پای تنداب، بلوک کف، آب پایه

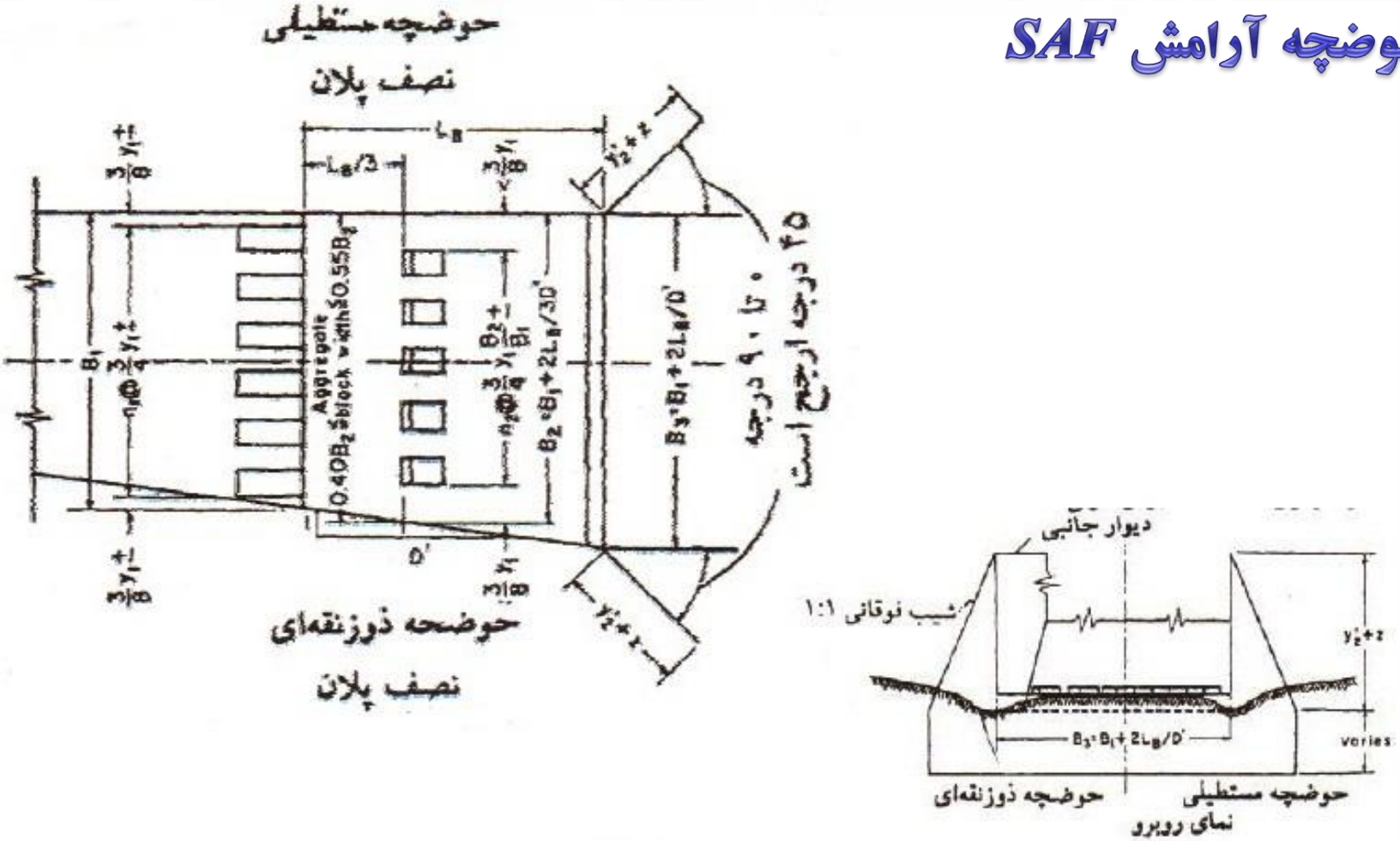
✓**محدوده کاربرد**

$$1.7 \leq Fr_1 \leq 17$$

حوضچه آرامش SAF



حوضچه آرامش SAF



حوضچه آرامش *SAF*

حوضچه آرامش SAF

$$L_B = \frac{4.5 y_2}{Fr_1^{0.76}}$$

برای محاسبه عمق پایاب(*Tail Water*)

$$\begin{cases} 1.7 \le Fr_1 \le 5.5 \rightarrow \dfrac{TW}{y_2} = 1.1 - \dfrac{Fr_1^2}{120} \\ 5.5 \le Fr_1 \le 11 \rightarrow \dfrac{TW}{y_2} = 0.85 \\ 11 \le Fr_1 \le 17 \rightarrow \dfrac{TW}{y_2} = 1 - \dfrac{Fr_1^2}{800} \end{cases}$$

مفید در کاهش طول پرش به اندازه70 تا ۹۰ درصد

حوضچه آرامش USBR I

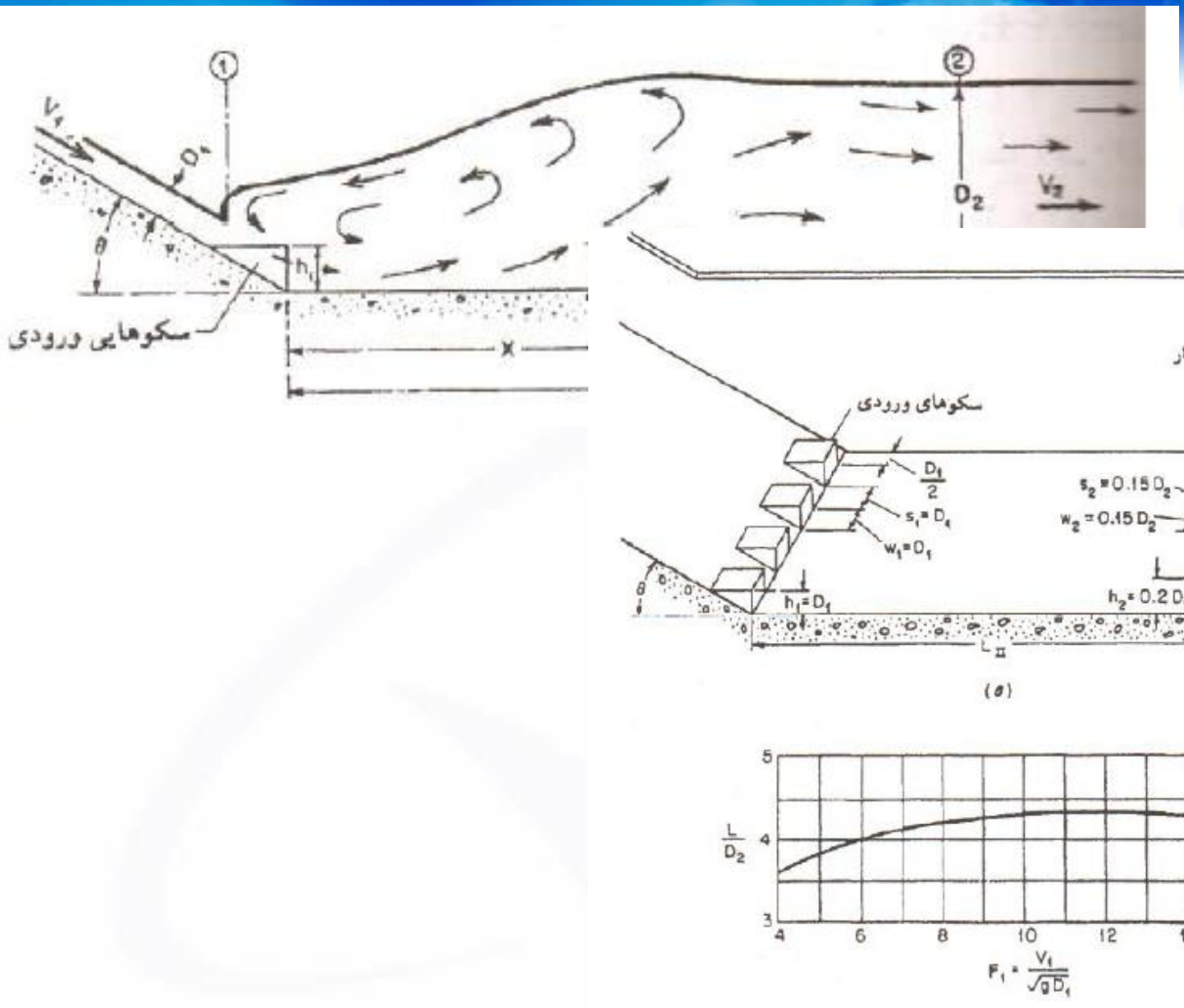
- کف سازیی ساده و افقی در مسیر پرش که بدون هیچ گونه زائده ای پرش روی آن اتفاق می افتد.
- به علت عدم وجود هیچگونه کنترلی، امکان جابه جایی پرش روی آن وجود دارد.

حوضچه آرامش *USBR II*

- ✓ اجزای حوضچه :بلوک پای تنداب + آب پایه دندانه دار
- ✓ به جهت احتمال وقوع کاویتاسیون، از بلوکهای کف استفاده نمی شود.
- ✓ موارد کاربرد :پایین دست سرریز سدهای خاکی و سازه های بزرگ کانال ها
- ✓ توصیه می شود که طراحی به گونه ای صورت گیرد که حوضچه بتواند حداقل 5 % بیشتر از عمق ثانویه، پرش را در خود جای دهد.

محدودیت های استفاده از این نوع حوضچه ها

$$4.5 \le Fr_1 \le 9 \quad , \quad V_1 > 18 m/s$$

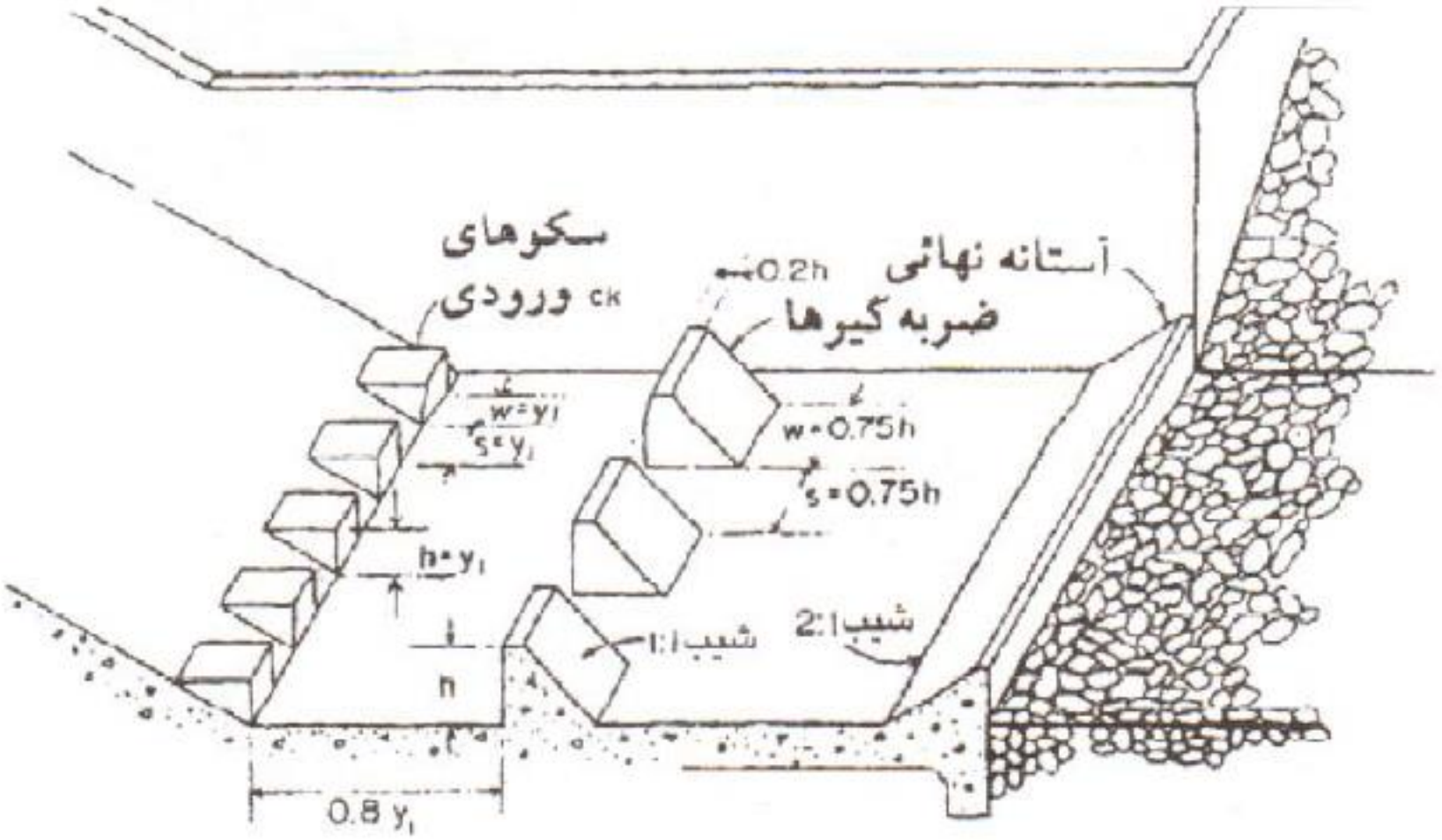


حوضچه آرامش *USBR I*

حوضچه آرامش *USBR II*

محدودیت های استفاده از این نوع حوضچه ها

$$4.5 \le Fr_1 \le 9 \quad , \quad V_1 > 18\,m/s$$

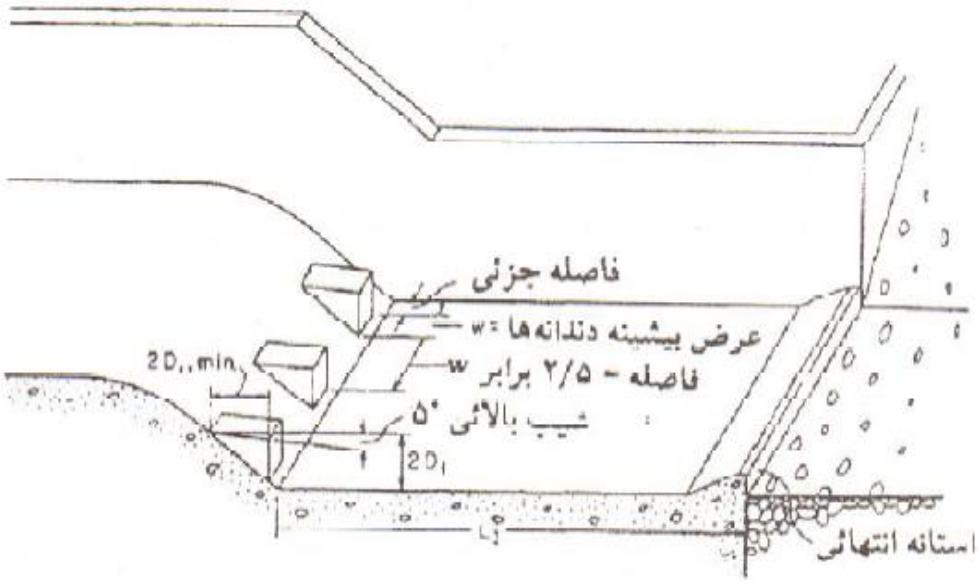

سکوهای
ورودی
آستانه نهائی
ضربه گیرها
0.2h
w=y1
s=y1
h=y1
w=0.75h
s=0.75h
شیب 1:1
شیب 2:1
h
0.8 y1

حوضچه آرامش *USBR IV*

محدودیت های استفاده از این نوع حوضچه ها

$$2.5 \leq Fr_1 \leq 4.5$$

تنها برای مقاطع مستطیلی به کار میرود.



$$F_b = 0.1\,(V_1 + y_2)$$

ارتفاع آزاد پیشنهادی ***USBR***:

حوضچه آرامش ***SAF*** نسبت به انواع دیگر، کوتاه تر بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر است.

حوضچه آرامش نوع ***USBR III*** برای سازه های هیدرولیکی کوتاه در نظر گرفته شده، در برابر حوضچه آرامش ***SAF*** گرانتر بوده اما از نظر سازه ای قوی تر است.

مثال :مطلوب است طراحی حوضچه آرامش برای سرریزی با مشخصات زیر:

رقوم سطح آب در سراب =1010m

رقوم سطح آب در پایاب =974m

رقوم بستر در سراب و پایاب =964m

طول تاج سرریز= $L = 75\ m$

عرض حوضچه آرامش =طول تاج

اختلاف ارتفاع تراز آب در سراب و پایاب Z=1010 – 974=26m

$Q_d = 2000\,m^3/s$

$H_d = 5.2m$

$H_e = 5.24m$

$W = 30.8m$

محاسبه سرعت در پای سرریز

$$V_1 = \sqrt{2g\left(Z - \frac{H_d}{2}\right)} = \sqrt{2\times 9.81\left(36 - \frac{5.2}{2}\right)} = 25.60\,m/s > 18\,m/s$$

عمق اولیه پرش هیدرولیکی

$$y_1 = \frac{Q}{BV_1} = \frac{2000}{75\times 25.60} = 1.042m$$

عدد فرود قبل از پرش

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{25.60}{\sqrt{9.81\times 1.042}} = 8 > 4.5$$

عمق ثانویه

$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1\right) = 11.28m$$

با توجه به سرعت آب در پنچه سرریز بیش از18m/sو عدد فرود بیش از4.5، حوضچه آرامش نوع *USBR II* مناسب است. در این نوع سازه، ارتفاع سرریز نباید بیش از 60m و q نباید بیش از $46\ m^2/s$ باشد.

$$w = 30.8m < 60m$$

$$q = \frac{2000}{75} = 26.67m^2/s < 46m^2/s$$

عمق آب در حوضچه آرامش *USBR II* باید 5 % بیش از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی باشد.

$$y_b = 1.05 y_2 = 1.05 \times 11.28 = 11.85 m$$

با توجه به داده های مسأله عمق آب در پایاب = 974-964=10 m

در صورتی که عمق لازم برای پایاب= yb=11.85 *m*

در نتیجه می بایست رقوم کف حوضچه پایین تر از رقوم بستر رودخانه قرار گیرد.

با روش آزمون و خطا و فرض اینکه در محاسبات اولیه رقوم کف حوضچه برابر 11.85-10=1.85m پایین تر برده شود، مقادیر یک بار کنترل می شوند.

مقادیر جدید

$$Z = 38.1m$$

$$V_1 = 26.39\,m/s > 18\,m/s$$

$$y_1 = 1.01m$$

$$Fr_1 = 8.38 > 4.5$$

$$y_2 = 11.48m$$

$$y_b = 12.05m$$

در جهت اطمینان رقوم کف حوضچه آرامش به اندازه2.1m پایین تر از بستر قرار داده می شود.

با استفاده از استانداردهای ارائه شده:

$$\frac{L_b}{Y_2} = 4.23$$

$$L_b = 4.23 \times 11.48 = 48.56 \cong 48.6m$$

✓ارتفاع آزاد در حوضچه آرامش:

$$F_b = 0.1(V_1 + Y_2) = 3.787m$$

دریچه ها

دریچه ها(*Gates*)

- دریچه ها برای قطع و وصل جریان به کار می روند.
- دریچه ها می توانند به عنوان تنظیم کننده دبی و یا کنترل کننده تراز سطح آب به کار روند.
- جنس مصالح بدنه دریچه ها:
  - ✓فولادی . . . . . پر کاربرد و با استقامت بالا
  - ✓بتنی مسلح . . . . . در پروژه های خاص و به ندرت
  - ✓آلومینیومی . . . . . کم وزن و سبک
  - ✓چوبی . . . . . عرض دهانه و ارتفاع آب بالادست کم
  - ✓لاستیکی، نایلونی و سایر مواد شیمیایی . . . مصالح جدید

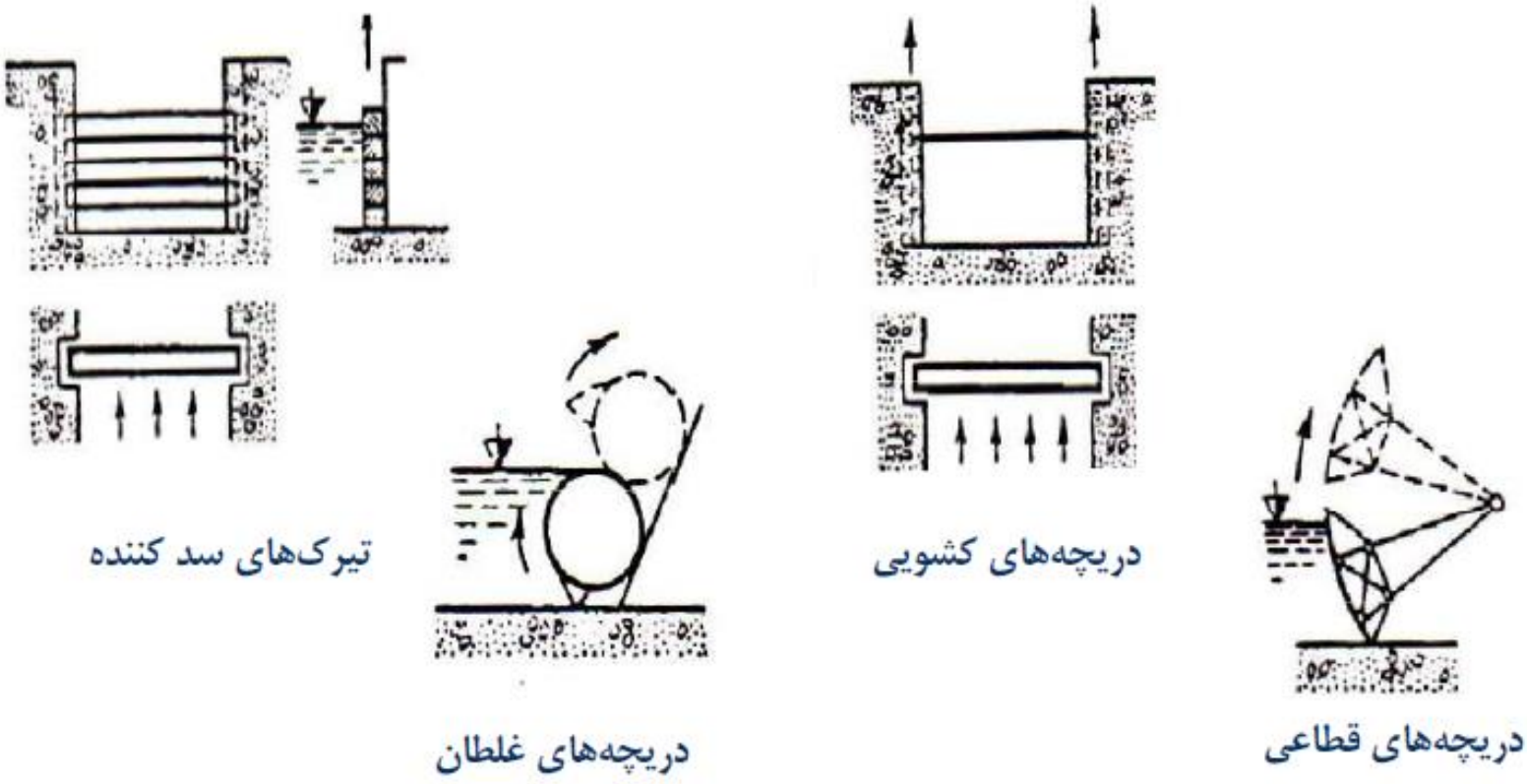
طبقه بندی دریچه ها بر اساس محل قرارگیری:

دریچه های سطحی (*Surface Gates*)..... تحت فشار کم

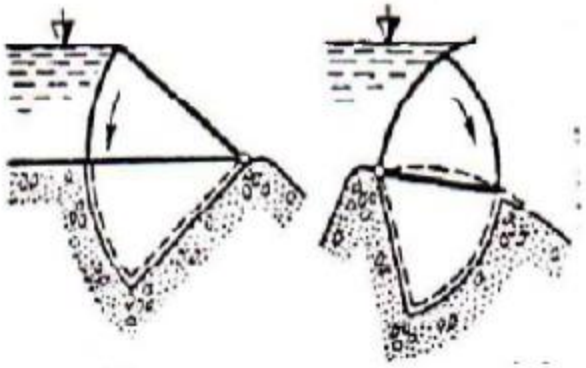
دریچه های تحتانی (*Submerged Gates*)..... تحت فشار زیاد

طبقه بندی دریچه ها بر اساس نوع حرکت:

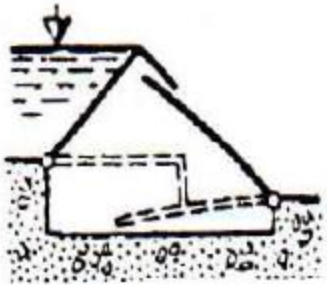
- **دریچه هایی که در امتداد جریان یا در جهت عمود بر جریان حرکت می کنند.**
- **دریچه های چرخشی (*Rotary Gates*)**
- **دریچه های غلطان (*Rolling Gates*)**
- **دریچه های شناور (*Floating Gates*)**



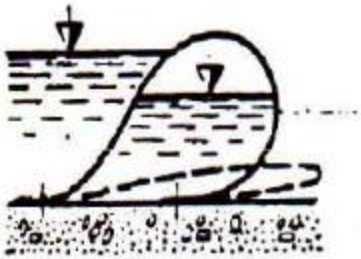
انواع دریچه های سطحی (دریچه هایی که نیروی فشار آب را به پایه های پل یا تکیه گاه های جانبی منتقل می کنند)



دریچه‌های خوابان



دریچه به شکل
شیروانی



دریچه‌های باد شونده

انواع دریچه های سطحی (دریچه هایی که نیروی فشار آب را بر کف سازه آبی منتقل می کنند)

مکانیزم حرکت دریچه ها:

- ✓دریچه های دستی *(Hand-Operated Gates)*... به صورت یاده کار می کند.
- ✓دریچه های هیدرولیکی *(Hydraulic Gates)*.... بر اساس قانون پاسکال
- ✓دریچه های مکانیکی *(Mechanical Gates)*... با استفاده از قانون نیرو و بازو
- ✓دریچه های برقی *(Electrical Gates)*.... با استفاده از دستگاه های برقی
- ✓دریچه های خودکار *(Automatic Gates)*..... بر اساس نیروی شناوری و بدون دخالت انسان

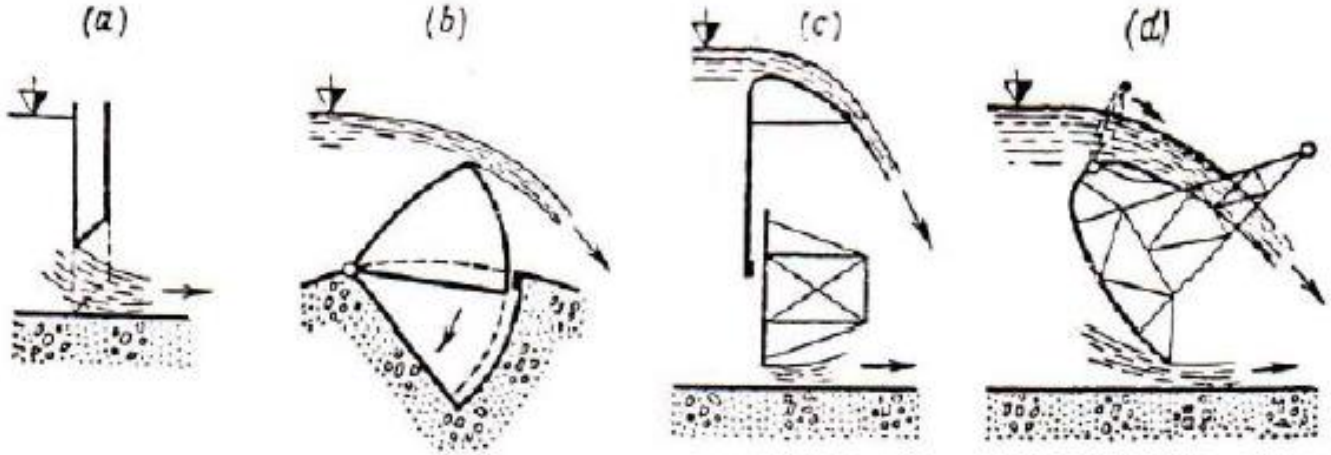
نحوه کار دریچه ها در زمان بهره برداری

❑چگونگی عبور آب از دریچه ها:

✓دریچه ممکن است به شکل روزنه (*Orifice*) عمل نماید(*a*). برای عبور رسوبات

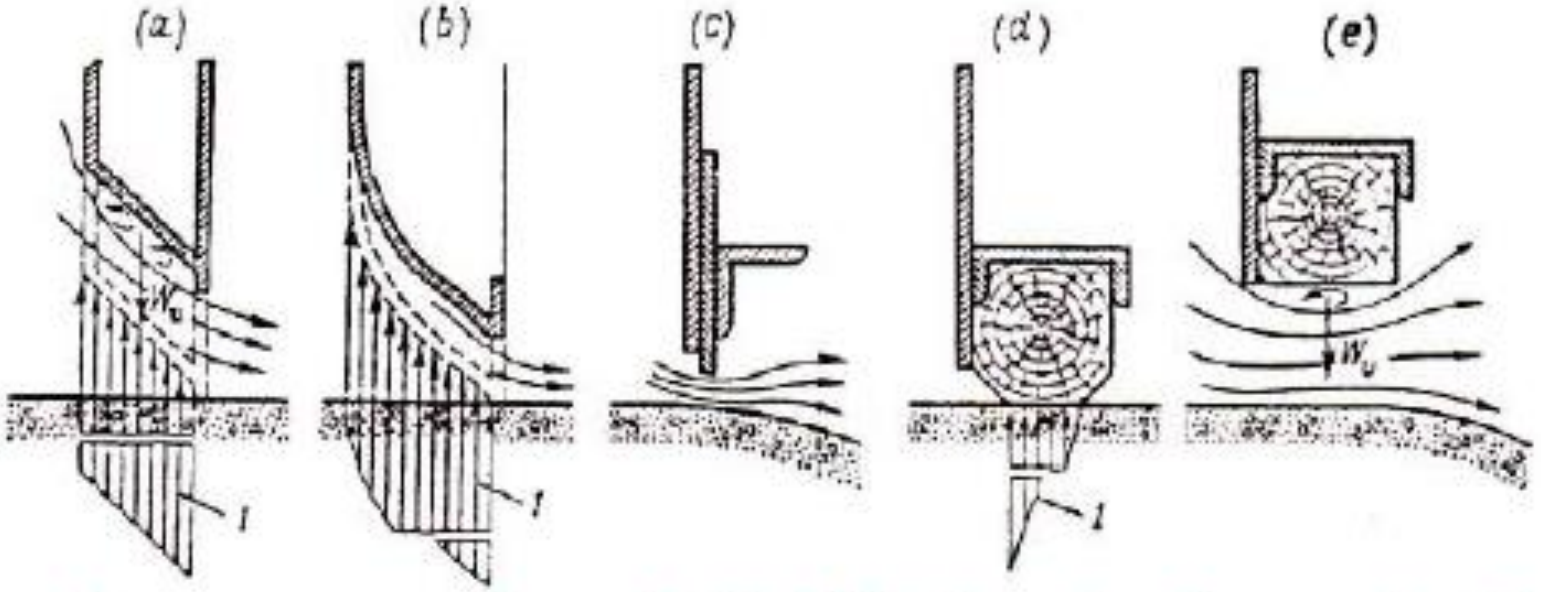
✓دریچه به صورت سرریز عمل می نمایند. برای تنظیم دبی جریان و نیز عبور مواد معلق و آشغال (*b*)

✓برای ترکیب عملیات بهتر از از دریچه های مضاعف کشویی (C) یا مضاعف قطاعی (d)



تأثیر شکل زیرین دریچه در عبور آب

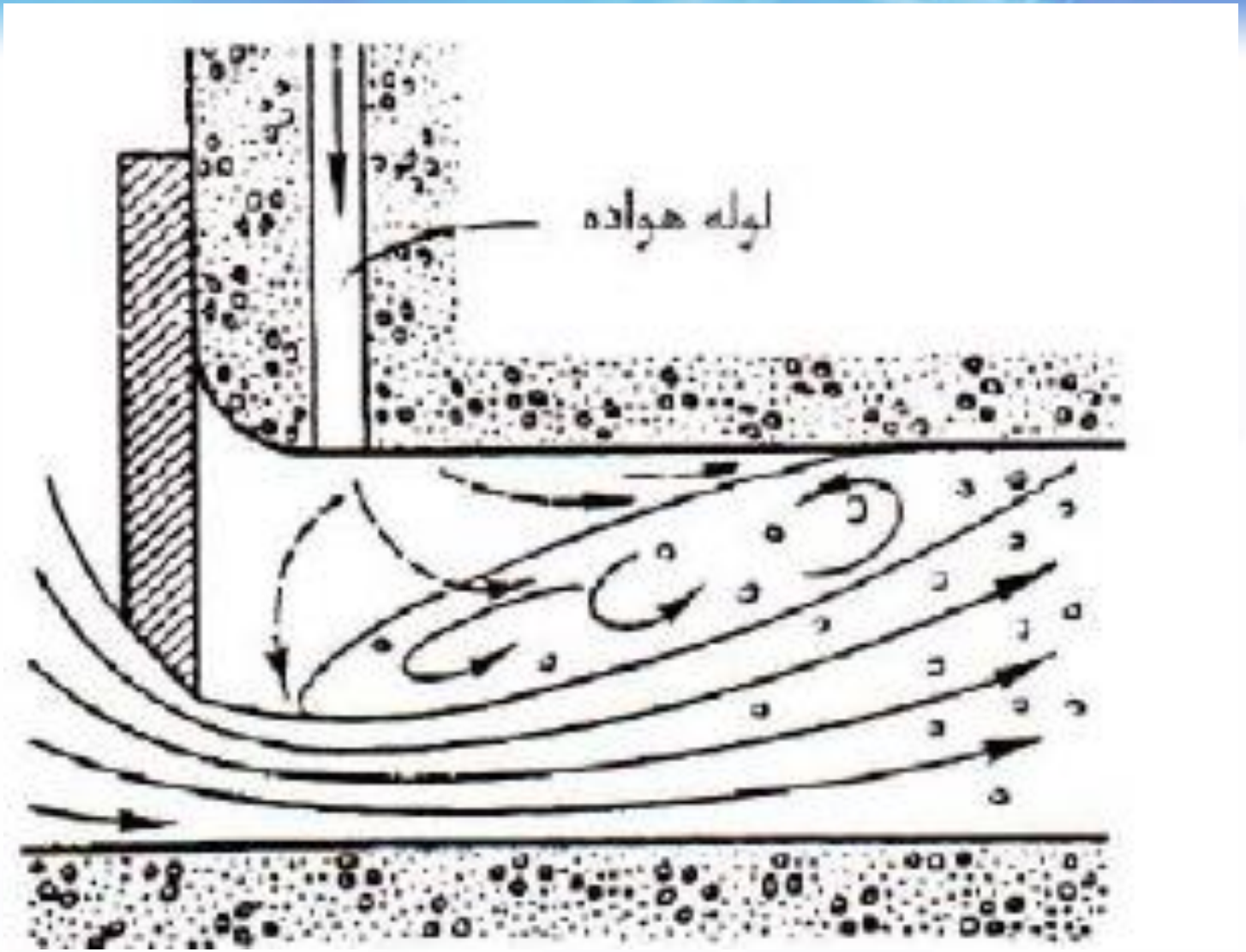
- در هنگام باز بودن دریچه، خلاء ایجاد شده و باعث ایجاد لرزش در سازه می گردد. به دنبال آن خوردگی به وجود آمده و نیروی لازم جهت بالا کشیدن دریچه بیشتر می شود (a، d و e).
- برای کاهش میزان خلاء، ممکن است از شکل(*b*) استفاده شود. در این دهانه ورودی به صورت کاملاً خمیده ساخته شده است.
- تجربه نشان داده که چنانچه سطح زیرین دریچه به صورت تیغه فولادی ساخته شود(*c*) ، در زیر دریچه خلاء ایجاد نمی شود. نیروی زیر فشار در زمان بسته بودن دریچه بسیار ناچیز است.



تأثیرپذیری حرکت آب در اثر شکل انتخابی سطح زیرین دریچه‌ها

خلازدایی در پایین دست دریچه

- با توجه به انحنا خطوط جریان، اصولاً در دهانه ورودی آبها خلاء ایجاد می شود.
- این امر در مورد آبگیری نیروگاه های آبگیر تحتانی سد زاینده رود مورد توجه قرار گرفته است.
- چنانچه در دهانه ورودی دریچه نصب شود، تشکیل خلاء تشدید می شود.
- بنابراین در هر حالت بهتر است در دهانه ورودی آبگیرها، از لوله هوا دهنده برای خلازدایی استفاده شود.


لوله هوادهٔ

نیروهای وارد بر دریچه

- ترکیب نیروهای وارد بر دریچه در حالت بسته
  - ✓ نیروهای فشار آب به ازای رقوم نرمال سطح آب در مخزن + حداکثر نیروی ناشی از امواج
- نیروهای فشار آب به ازای رقوم ماکزیمم سطح آب در مخزن در هنگام سیلا بی شدن جریان + متوسط نیروی امواج
  - ✓ نیروهای ناشی از فشار آب و زمین لرزه به ازای رقوم نرمال سطح آب در مخزن

دریچه های سطحی – دریچه های کشویی

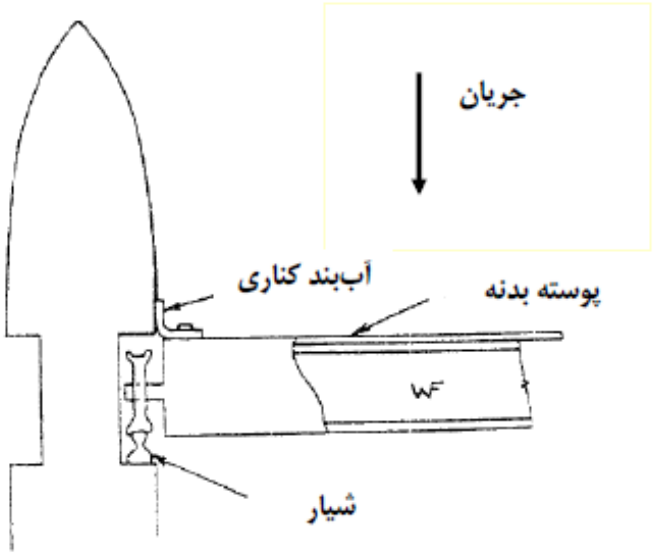
- دهانه های عریض از جنس فولاد و بتن مسلح
- دهانه های کم عرض از جنس چدن، چوب یا مواد لاستیکی

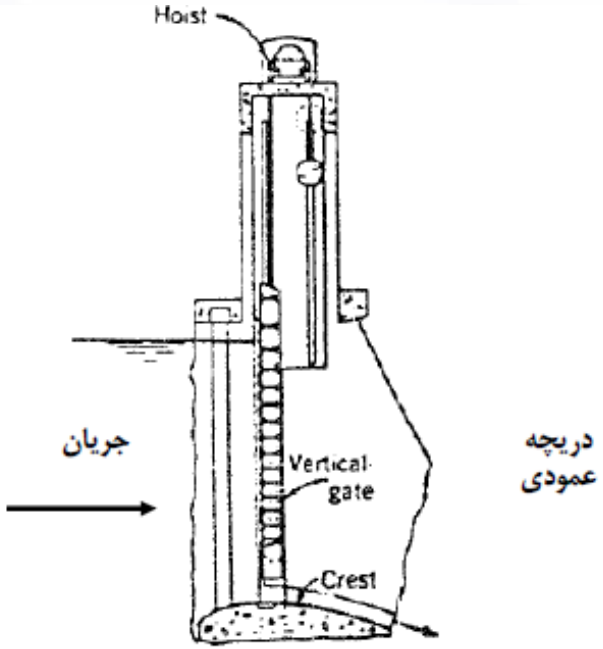
محدوده کاربرد دریچه های کشویی

- سدها با عرض دهانه از ٤ تا ٤٥ متر و ارتفاع سراب از ١ تا ١٥ متر
- کانال های آبیاری با عرض حداکثر تا ٣ متر و ارتفاع آب در سراب حداکثر تا ٣ متر

دریچه های کشویی – دریچه های فولادی

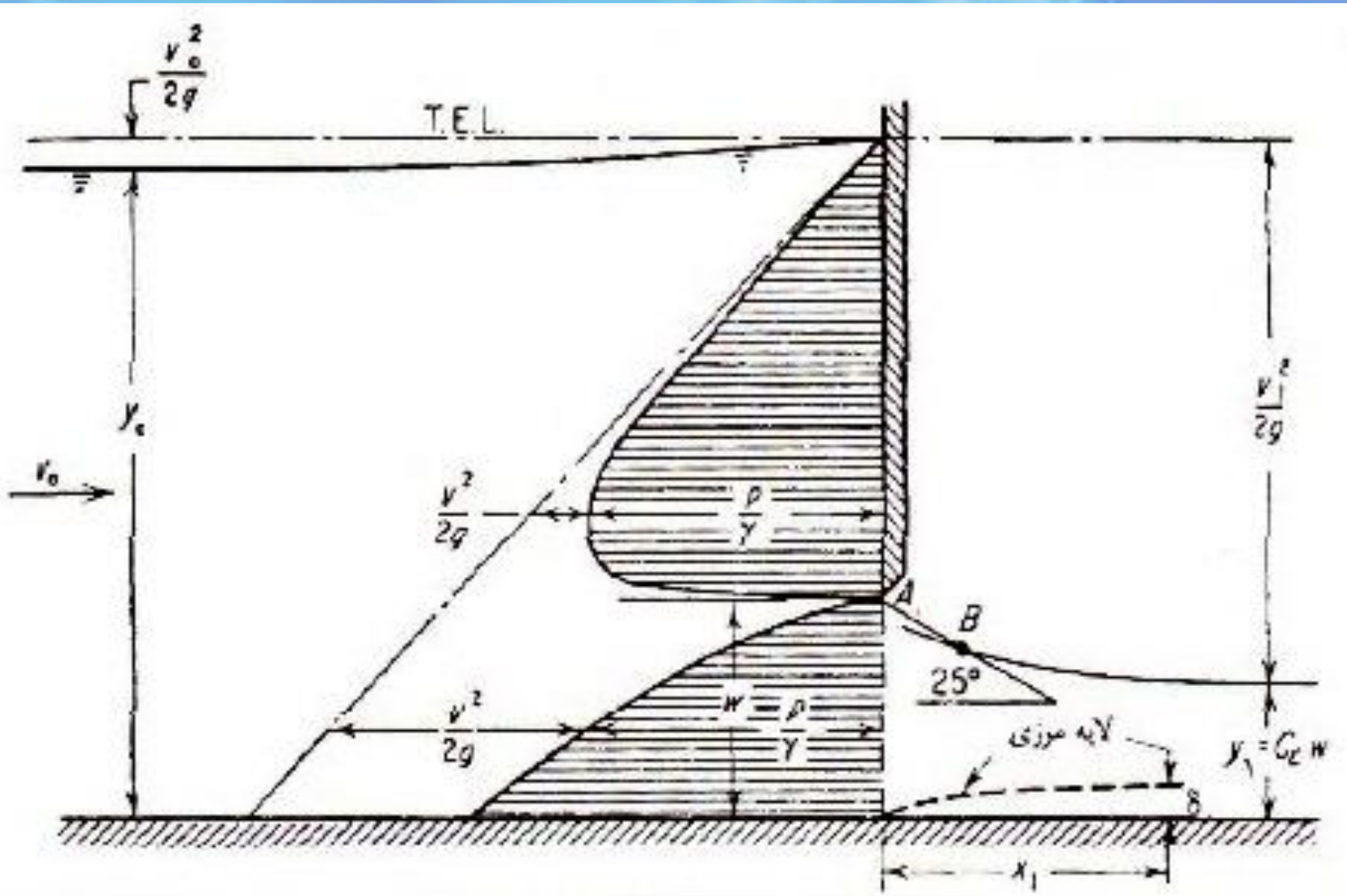
- در دهانه های کم عرض، دریچه روی مسیری به صورت ریل حرکت می کند.
- برای کاهش نیروی ناشی از اصطکاک، استفاده از قرقره های افقی به صورت غلطک





نیروهای وارد بر دریچه های کشویی

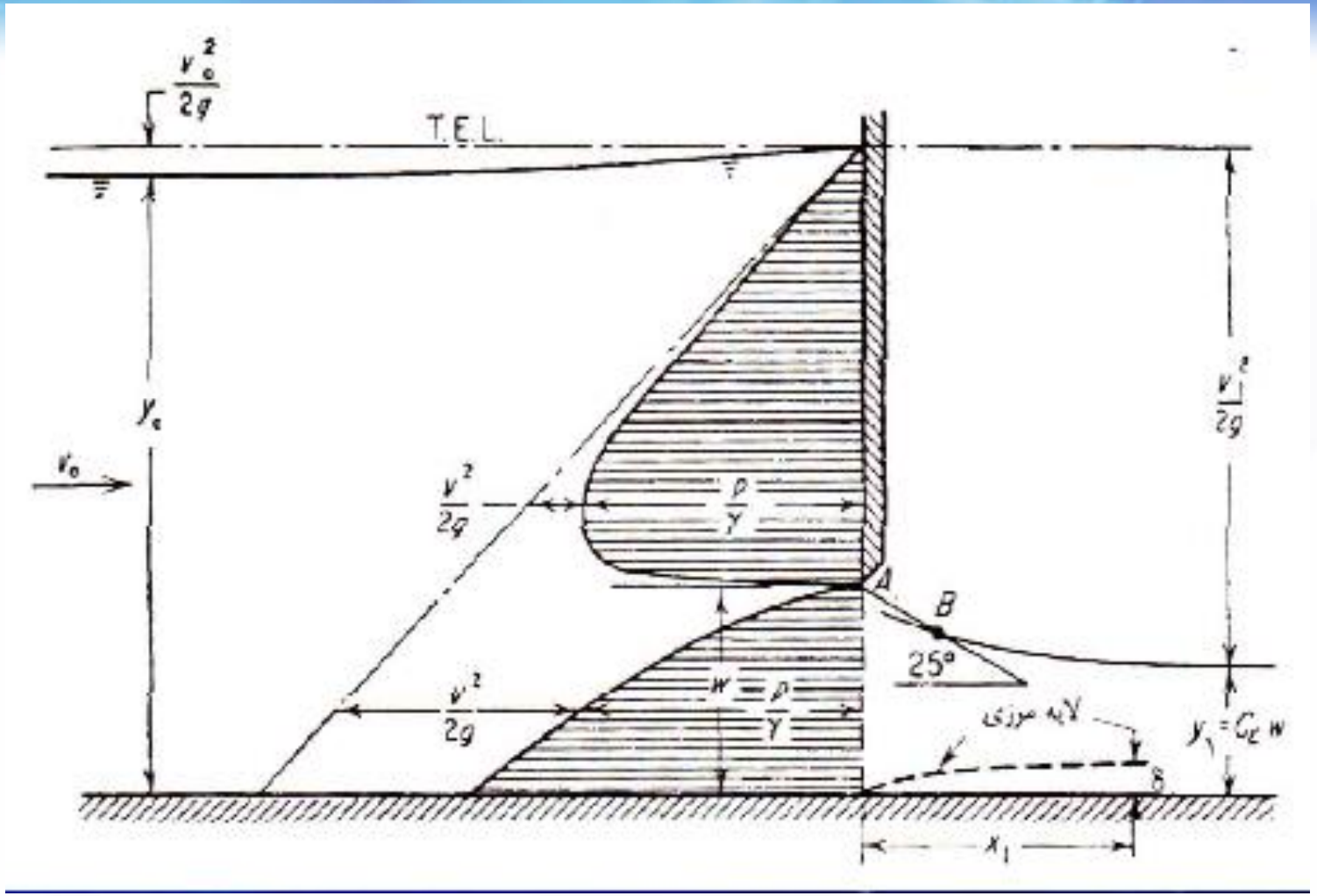
- در زمانی که دریچه نیمه باز است، نیروهای هیدرودینامیکی بر دریچه وارد می شوند.
- با استفاده از معادله اندازه حرکت (مومنتم) می توان این نیرو را محاسبه نمود.
- معادله حرکت بین نقاط (0) و (1) نوشته می شود.


$\frac{V_0^2}{2g}$
T.E.L.
y_c
V_0
$\frac{V^2}{2g}$
$\frac{p}{\gamma}$
A
B
25°
$W = \frac{p}{\gamma}$
$\frac{V^2}{2g}$
لایه مرزی
$y_1 = C_c W$
$\frac{V_1^2}{2g}$
x_1

❑مقطع مستطیلی بوده و معادله برای یک متر عرض در زمانی که جریان در پایین دست آزاد است، نوشته می شود.

$$\frac{1}{2}w_0^{\,2}-\frac{1}{2}w_1^{\,2}-R=\rho q(V_1-V_0) \quad \Longrightarrow \quad \frac{1}{2}y_0^{\,2}-\frac{1}{2}y_1^{\,2}-\frac{R}{\gamma}=\frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{y_1}-\frac{1}{y_0}\right)$$

- Rنیروی عکس العمل از طرف دریچه بر آب که با نیروی هیدرودینامیکی برابر است.
- qدبی در واحد عرض


$\frac{V_0^2}{2g}$
T.E.L.
y_c
V_0
$\frac{V^2}{2g}$
$\frac{p}{\gamma}$
A
B
25°
$W = \frac{p}{\gamma}$
$\frac{V^2}{2g}$
لایه مرزی
$y_1 = C_c\, w$
$\frac{V_1^2}{2g}$
x_1

چنانچه جریان در پایین دست دریچه مستغرق باشد، معادله مربوط به محاسبه نیروی هیدرودینامیکی

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

$$y_d=y_t\left[\sqrt{1+2Fr_1^2\left(1-\frac{y_t}{y_1}\right)}\right]$$

- Y_t و F_{rt} به ترتیب عمق در پایاب و عدد فرود مربوط به آن

پارامترهای جریان در دریچه های کشویی

مقدار عمق آب در مقطع شماره (۱)

$$y_1 = C_c w$$

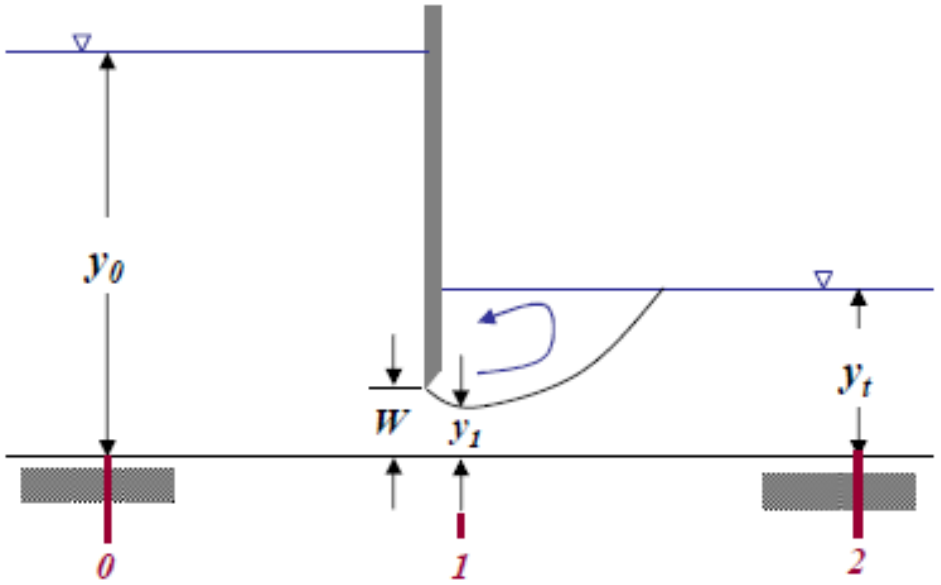
W میزان بازشدگی دریچه و C_c ضریب فشردگی جریان

$$C_c = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - \frac{w}{y_0}}$$

مثال :چنانچه در شکل، $q=1.1m^3/s.m$ ، $y_0=2.5m$ ، $W=0.5m$ و $y_t=2m$ باشد، نیروی هیدرودینامیکی وارد بر دریچه را محاسبه نمایید.

$$C_c = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - \frac{0.5}{2.5}} = 0.618$$

$$y_1 = C_c W = 0.618 \times 0.5 = 0.309m$$



$$Fr_1 = \frac{q}{\sqrt{g y_1^3}} = \frac{1.1}{\sqrt{9.81(0.309)^3}} = 2.04$$

آزاد بودن جریان کنترل می شود

$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1\right) = 0.75m \quad < \quad y_t = 2m$$

جریان مستغرق است.

جریان مستغرق است.

$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_1^{\,2}}-1\right) = 0.75m \quad < \quad y_t = 2m$$

$$Fr_t = \frac{q}{\sqrt{gy_t^{\,3}}} = \frac{1.1}{\sqrt{9.81(2)^3}} = 0.124$$

$$y_d = 2\times\left[\sqrt{1+2(2.04)^2\left(1-\frac{2}{0.309}\right)}\right] = 1.823m$$

$$\frac{1}{2}y_0{}^2-\frac{1}{2}y_d{}^2-\frac{R}{\gamma}=\frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{y_1}-\frac{1}{y_0}\right)\Rightarrow\frac{1}{2}(2.5)^2-\frac{1}{2}(1.823)^2-\frac{R}{9.81}=\frac{1.1^2}{9.81}\left(\frac{1}{0.309}-\frac{1}{2.5}\right)$$

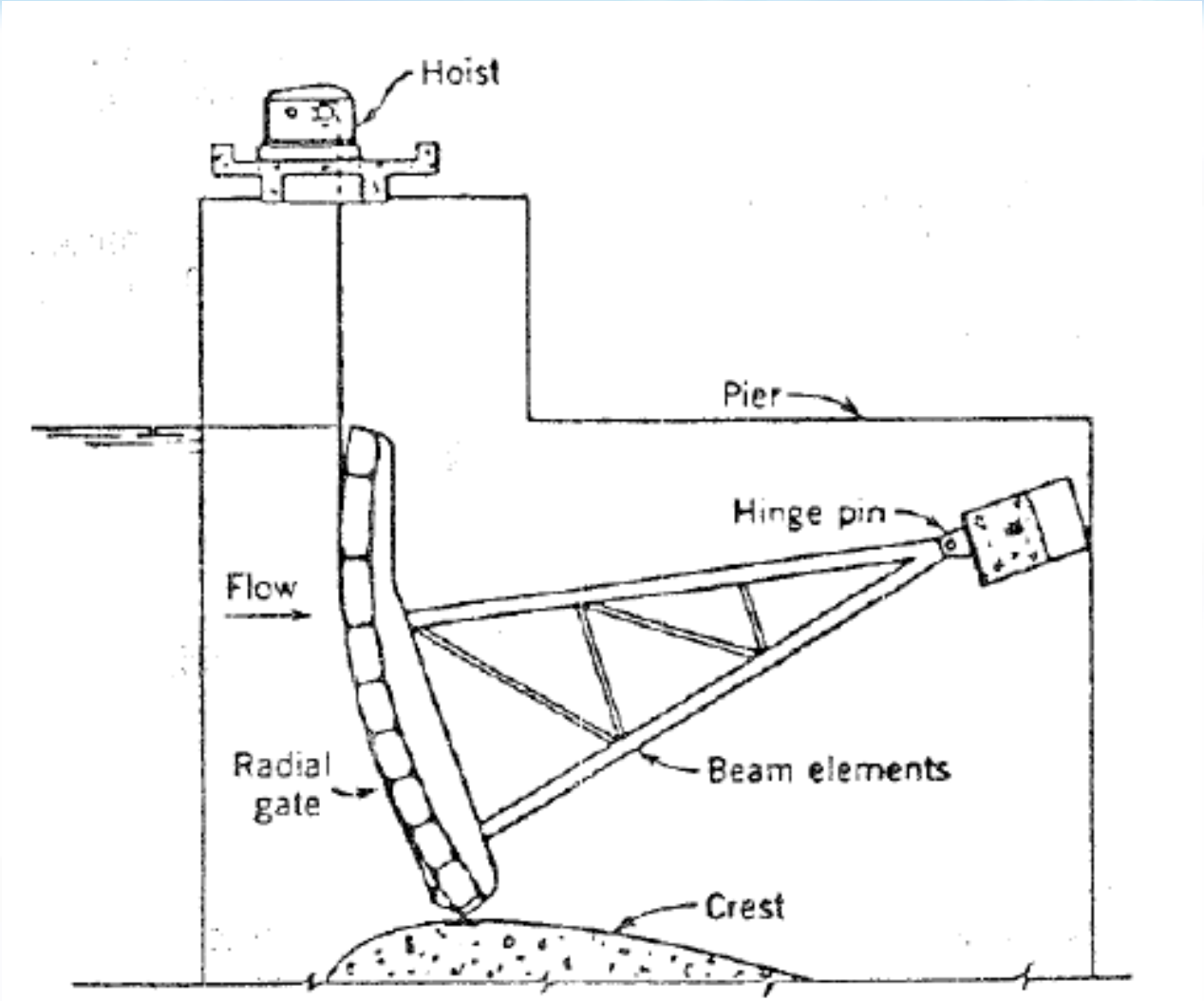
$$R=1.11 ton/m$$

دریچه های قطاعی سطحی

نیروی لازم برای باز کردن دریچه های کشویی > 1.5تا ۲ برابر وزن دریچه های کنترل سطح آب و دبی در تاج سرریزها و تونل های انتقال آب

برتری دریچه های قطاعی نسبت به دریچه های سطحی:

- سهولت و سادگی ساخت و نصب
- سهولت در بهره برداری، نگهداری و سرویس
- عدم نیاز به شیار در تکیه گاه ها
- عدم نیاز به چرخ و تأسیسات دیگر مانند ریل و قرقره
- کاهش قابل ملاحظه نیرو جهت باز و بسته کردن دریچه


Hoist
Pier
Hinge pin
Flow
Radial gate
Beam elements
Crest

دریچه قطاعی سرریز

اغلب دریچه های قطاعی دارای پوسته استوانه ای هستند، و به همین دلیل نیروهای فشار آب وارد بر دریچه از محور آن گذشته و گشتاوری را حول آن به وجود نمی آورد. در نتیجه نیروی لازم جهت بالا کشیدن دریچه می بایست فقط با نیروی وزن دریچه مقابله نماید.

شعاع دریچه های قطاعی

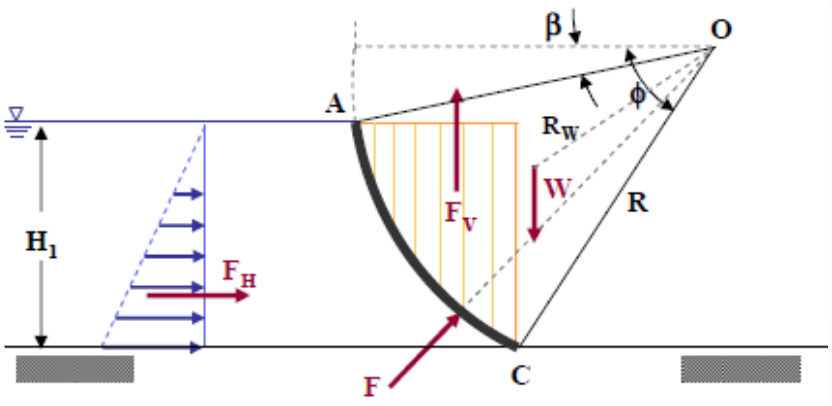
محور دریچه پایین تر از سطح آب در سراب باشد یا هم تراز آن .... R=1.2 ~ 1.5 H

محور دریچه بالا تر از سطح آب در سراب باشد ... R=1.5 ~ 2.5 H

ارتفاع دریچه های قطاعی = 2 ~ 14 m

عرض دهنه= 3 ~ 40 m

حداکثر عرض * ارتفاع = 400 m



نیروهای وارد بر دریچه های قطاعی سطحی

نیروی افقی
نیروی قائم
نیروی وزن

$$F_H = \frac{1}{2}\gamma H_1^{\,2} b$$

$$F_V = \frac{1}{2}\gamma R^2\left[\frac{\pi(\phi-\beta)}{180} + 2\sin\beta\cos\phi - \frac{1}{2}(\sin 2\beta + \sin 2\phi)\right]\times b$$

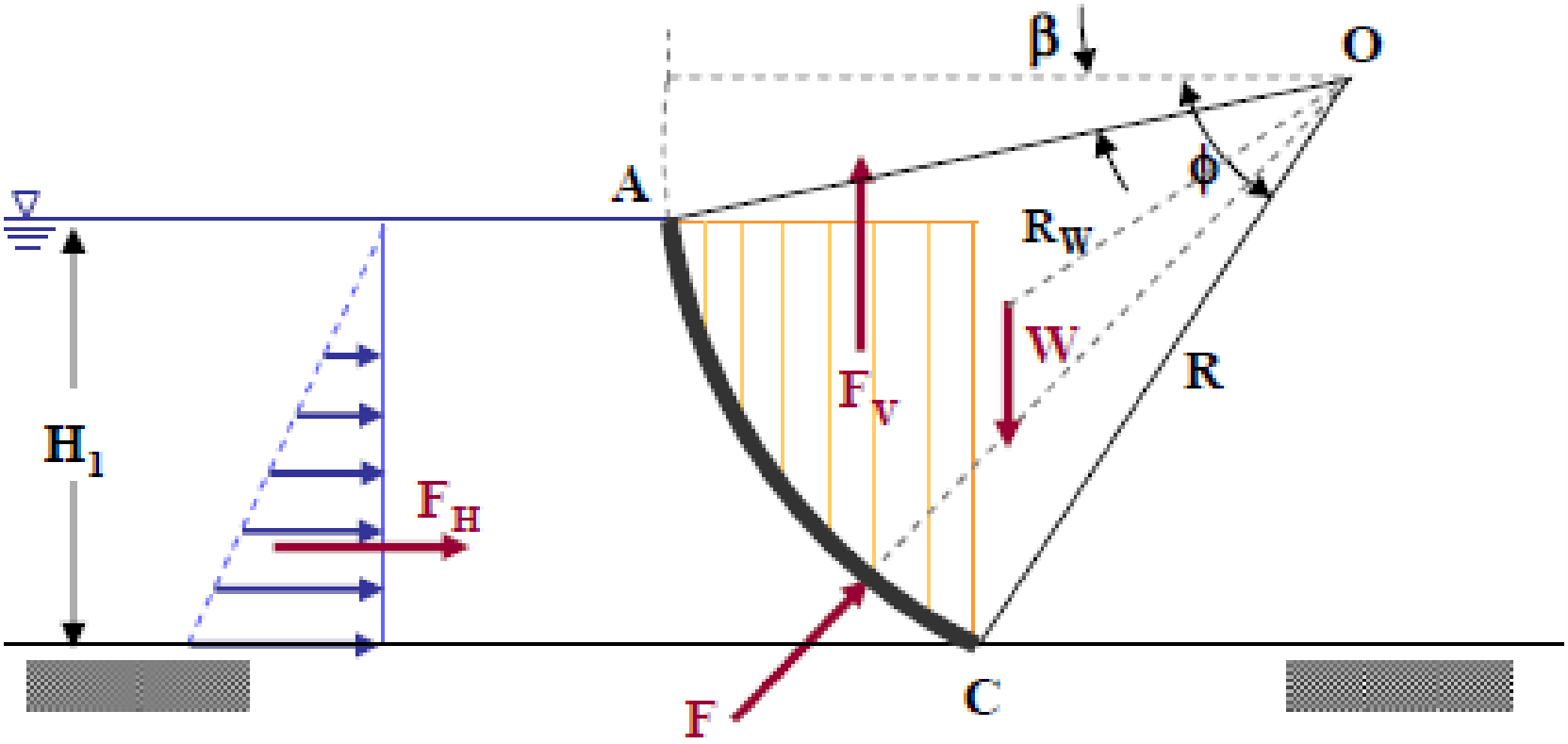
$$W = K(F.b)^n$$

$15 < F\cdot b < 25\ Ton.m$

$K = 0.15 \quad , \quad n = 0.70$

$25 < F\cdot b\ Ton.m$

$K = 0.11 \quad , \quad n = 0.69$


β
O
A
ϕ
R_W
W
R
F_V
H_1
F_H
F
C

نیرو لازم جهت باز کردن دریچه

نیروی لازم برای باز کردن دریچه F_u

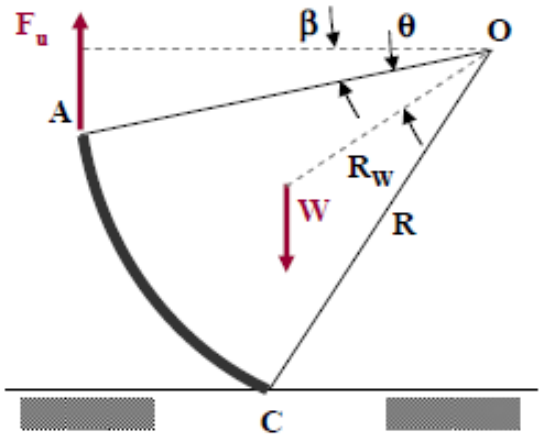
نیروی فشار آب هیچ گشتاوری حول نقطه O ایجاد نمی کند.

F =0.0

$$F_u R\cos\beta - WR_W\cos(\beta+\phi)=0$$

$$F_u = k_1 W\frac{R_W\cos(\beta+\phi)}{R\cos\beta}$$

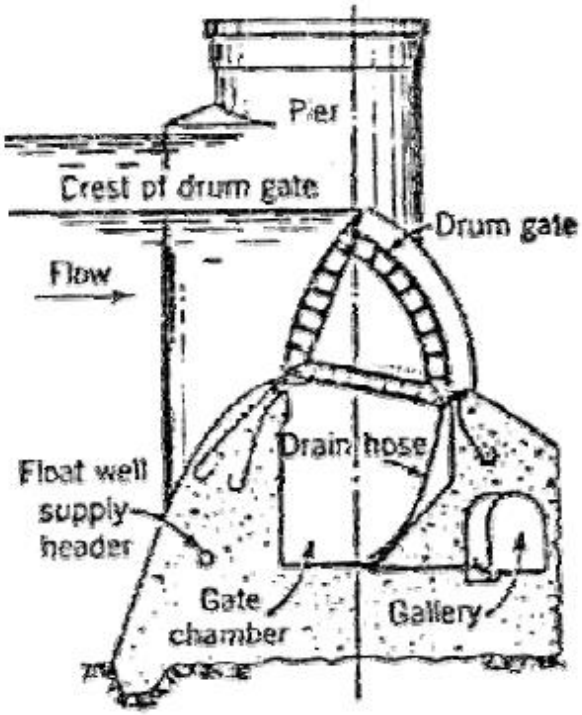
ضریب اطمینان $K_1 = 1.2$



دریچه های خوابان(*Drum Gates*)

- از پوسته های فولادی که قطاعی از استوانه را تشکیل می دهند، تشکیل شده اند.
- قطاعی که روی اتاقک قرار دارد، آب بندی می شود.
- دریچه در اثر آبی که از مخزن وارد اتاقک تحت فشار وارد میشود، باز شده و با تخلیه آب از اتاقک بسته میگردد.

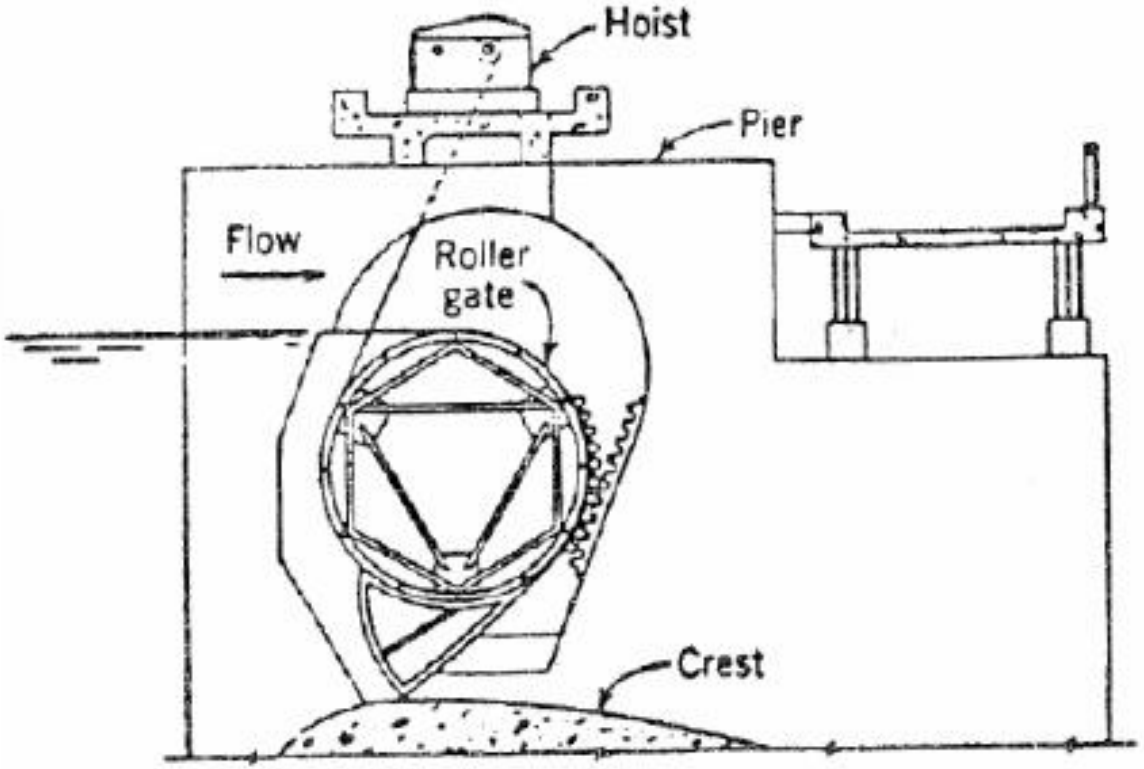
لولا معمولاً در بالادست رآس تاج سرریز قرار میگیرد.



دریچه های غلطان *(Roller Gates)*

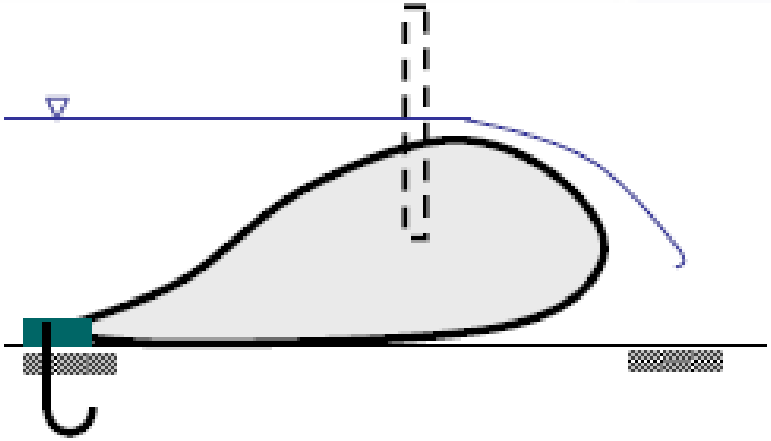
استوانه توخالی درب بسته

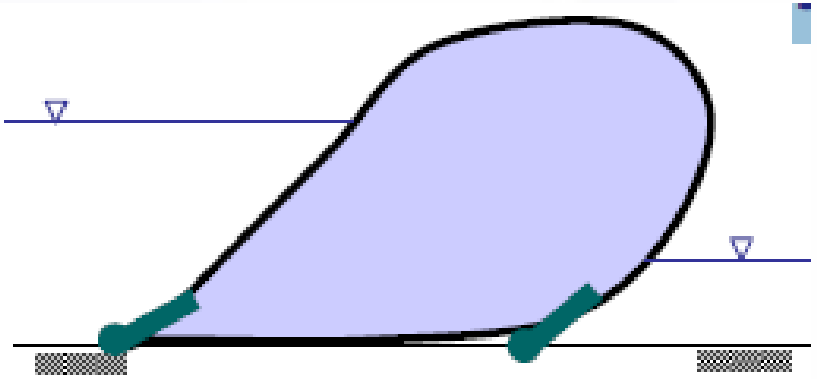
دریچه با غلطیدن روی سطح شیبداری که به صورت دو تکیه گاه ساخته می شود حرکت می کند.



دریچه های لاستیکی باد شونده(Inflatable Gates)

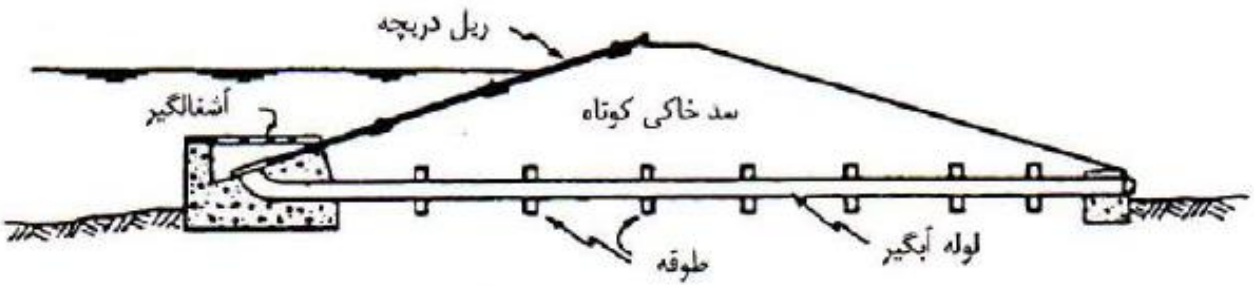
- ✓داخل لاستیک ها از هوا، آب و یا هر دو پر می شود و به صورت تحت فشار در می آید.
- ✓دهانه های عریض تا100m
- ✓ارتفاع آب در بالادست تاH=6m
- ✓مهمترین مزیت این دریچه ها : وزن کم، نصب ساده و قیمت ارزان
- ✓مهمترین معایب :به سادگی تحت تآثیر فرسایش قرار می گیرند.
- ✓کوتاه بودن عمر مفید





محل نصب دریچه ها

برای آبگیرهایی که در سدهای خاکی یا سنگریز کوتاه قرار می گیرند، بهتر است دریچه در ابتدای آبگیر نصب شود. در این حالت لوله آبگیر فقط در زمانی که دریچه باز است تحت فشارقرار می گیرد.



(الف) دریچه کشویی در سر لوله آبگیر

مشکلات دریچه ها

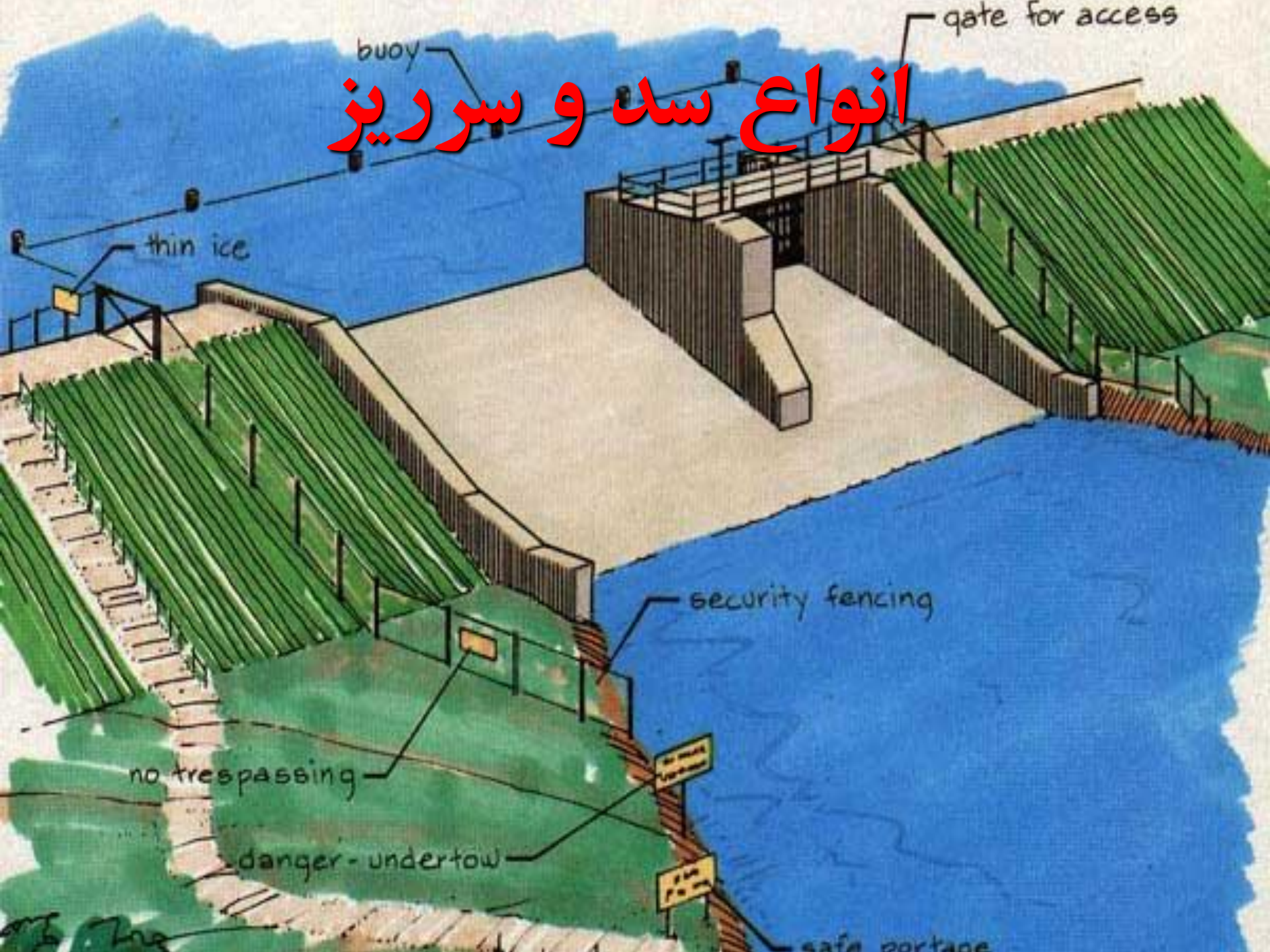
✓طراحی دریچه برای یک خروجی(*Outlet*) پیچیده تر از طراحی دریچه سرریزها است. زیرا دریچه های خروجی به صورت مستغرق بوده و می بایست تحت بارهای بیشتری قرار بگیرند. درمقابل دریچه سرریزها به راحتی در معرض تراوش قرار گرفته و می بایست پرده های آب بند (*Stoplog*)را در بالادست شیار پایه ها قرار داد.

✓هد سرریزها معمولاً کمتر از10mبوده اما هد خروجی ها در حدود ۱۰ برابر آن است.

❑مهمترین مشکلاتی که ممکن است در حین بهره برداری پیش آید:

✓گرفتگی دریچه، کاویتاسیون، لرزش در زمان بازشدگی تدریجی

انواع سد و سرریز



انواع سدها:

❑سدهای خاکی:

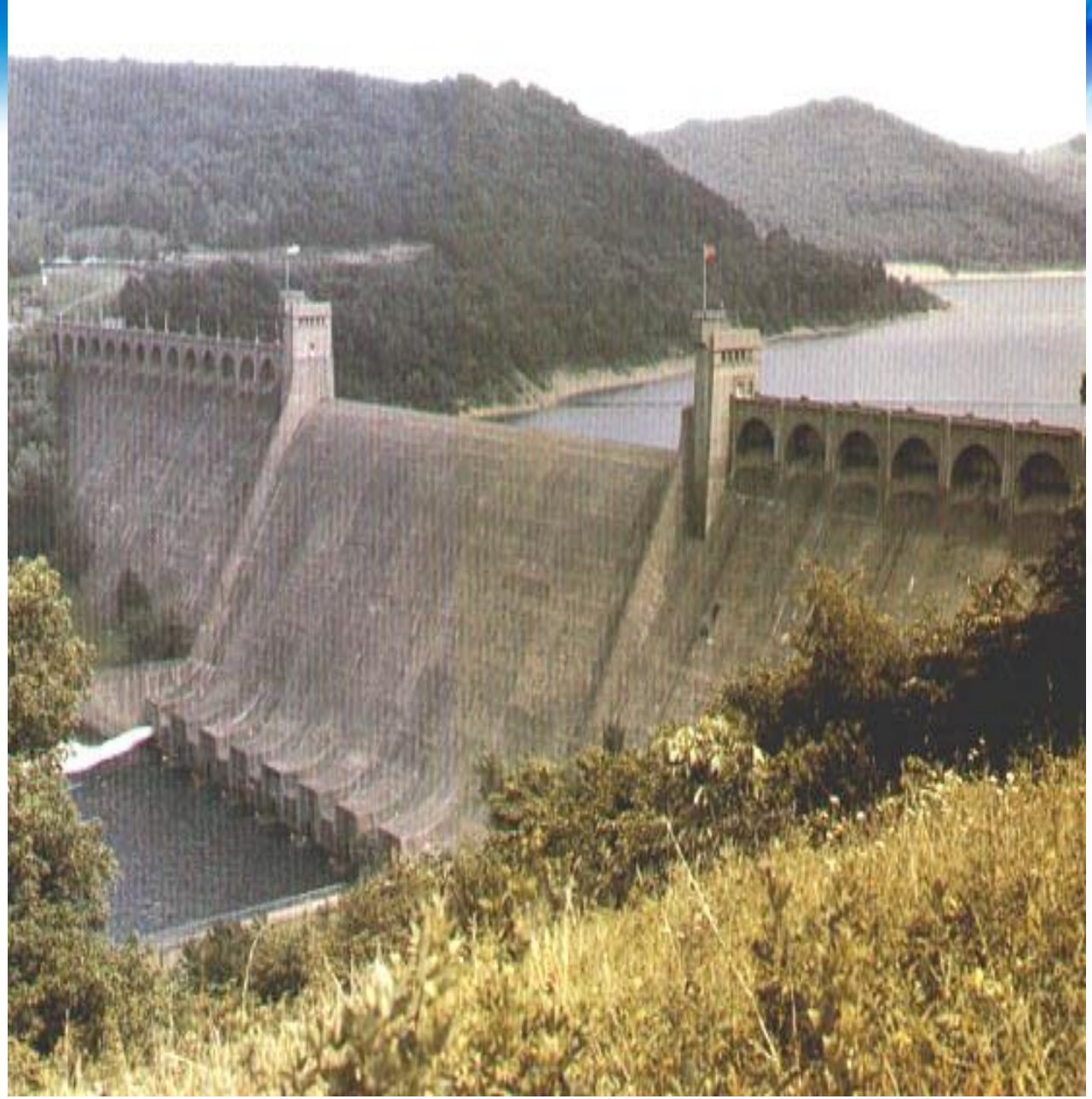
سدهای خاکی مصالحشان را از همان منطقه احداث و یا نواحی نزدیک تأمین می کنند، و اصولاً دارای هسته رسی می باشند. رس بر اثر تماس با آب مانع نفوذ و انتقال آب و رطوبت می گردد و مانند نوعی عایق رطوبتی عمل می کند. اگر عمده مصالح تشکیل دهنده سد خاکی یکسان باشند، سد را همگن می گویند و در غیر اینصورت ناهمگن. اگر کل سد خاکی از رس باشد سد خاکی همگن است، اما اگر هسته مرکزی سد رس باشد و دور هسته مرکزی را با سنگهای دانه درشت پر کرده باشند، سد غیر همگن محسوب می شود. از نظر تحلیل و آنالیز این نوع سدها بسیار حساس می باشند و در عین حال از نظر اجرا و پیاده سازی ساده تر می باشند. اجرای این سد در رودخانه های عریض ساده تر است. مصالح این سد اعم از ریز دانه و درشت دانه بایستی در دسترس باشد. این سدها برای زمینهایی نامناسب از نظر مقاومت مناسب ترین نوع سد می باشند.

سدهای سنگریز:

این سدها خودبخود غیر همگن می باشند و حتماً باید یک بافت آب بند در مرکز آن قرار گرفته باشد. شکل این سدها درست مانند سد ناهمگن خاکی با هسته رسی می باشد با این تفاوت که در مرکز سد به جای رس از سنگ ریزه نفوذ ناپذیر استفاده می شود و در دور تا دور سد سنگریزه های دشت تر ریخته می شود. در برخی موارد رویه سد را به جای سنگریزه با بتن می پوشانند که در آن صورت دیگر نیازی به هسته آب بند نمی باشد. اینگونه سدها اغلب از نوع بلند می باشند. این نوع سد در برابر زلزله بسیار مقاوم هستند. سنگهای ریخته شده برای سد بایستی خاصیتهایی از قبیل جذب کم آب، سایش کم، مقاومت فشاری بالا و در برابر سرد و گرم شدن مقاومت خوبی داشته باشند.

سدهای بتنی وزنی:

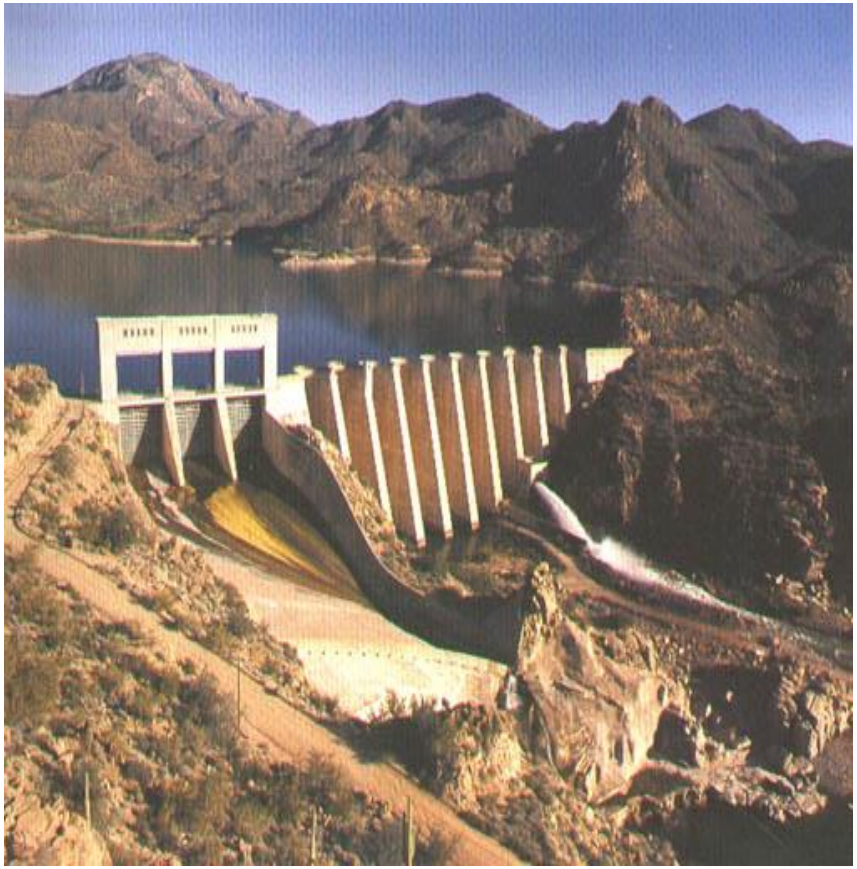
این سدها عمدتاً کوتاه هستند و ارتفاع آنها بین ۱۵ تا ۲۰ متر می باشد، این سدها به دلیل وزن زیادی که با بتن برای آن بوجود می آورند بر اثر فشار آب حرکت نمی کند و از جای خود تکان نمی خورد. در این نوع سد سرریز شدن آب مشکلی ایجاد نمی کند. این سدها در دره های عریض ساخته می شوند. این نوع سد در برابر تغییر درجه حرارت نیز هیچگونه حساسیتی ندارد.



سدهای بتنی قوسی :

این سدها معمولاً در درهای باریک با شیب زیاد و از جنس سنگ اجرا می گردد و می تواند دو قوسی نیز باشند و در راستای عمود ی و افقی در ه دو حالت قوس داشته باشند. حسن این سدها این است که اگر به هر علتی در بدنه آنها ترک ایجاد شود خود نیروی فشار اعمالی از جانب آب پشت سد باعث هم آمدن این ترکها (ترکهای حرارتی) می شود.

سدهای بتنی پشت بند دار:



- سدهای پشت بند دار از نوع بلند هستند و باعث جلوگیری از خمشهای زیاد در بتن می شوند و برای تصور آن می توان اینگونه آنرا تشبیه کرد که دیواری بلند را که دارای پی در زمین است با تیرچه هایی در پشت آن نیز محکم نگه داشته شود تا فرو نریزد.

سدهای لاستیکی:

این سدهای اغلب بر روی رودخانه های فصلی زده می شود و این سدها از جنس لاستیک می باشند که در زمان مورد نیاز این سدها را از باد پر می کنند و این عمل باد کردن حجم سد را بالا می برد و سد مانع عبور آب می گردد. از این نوع سد که جزوسدهای کوتاه نیز می باشد در شمال کشور خودمان نیز وجود دارد.

از نظر فنی برای ساختن یک سد می بایست مراحلی سپری شود تا ساختن یک سد آغاز گردد، هر کدام از این مراحل را یک فاز می نامند به شرح ذیل:

۱- **فاز صفر:** آیا ساختن این سد از نظر اقتصادی و مورد کاربری توجیه دارد یا خیر؟

۲- **فاز یک:** انواع سدهایی که با توجه به شرایط جغرافیایی و اقتصادی پیشنهاد می شود بطور ریز می بایست مورد بررسی قرار گیرد و میزان ذخیره آب و هزینه ریالی آن مورد بررسی قرار گیرد.

۳- **فاز دو :** هندسه و تحلیل سد و ریختن نقشه اجرای سد.

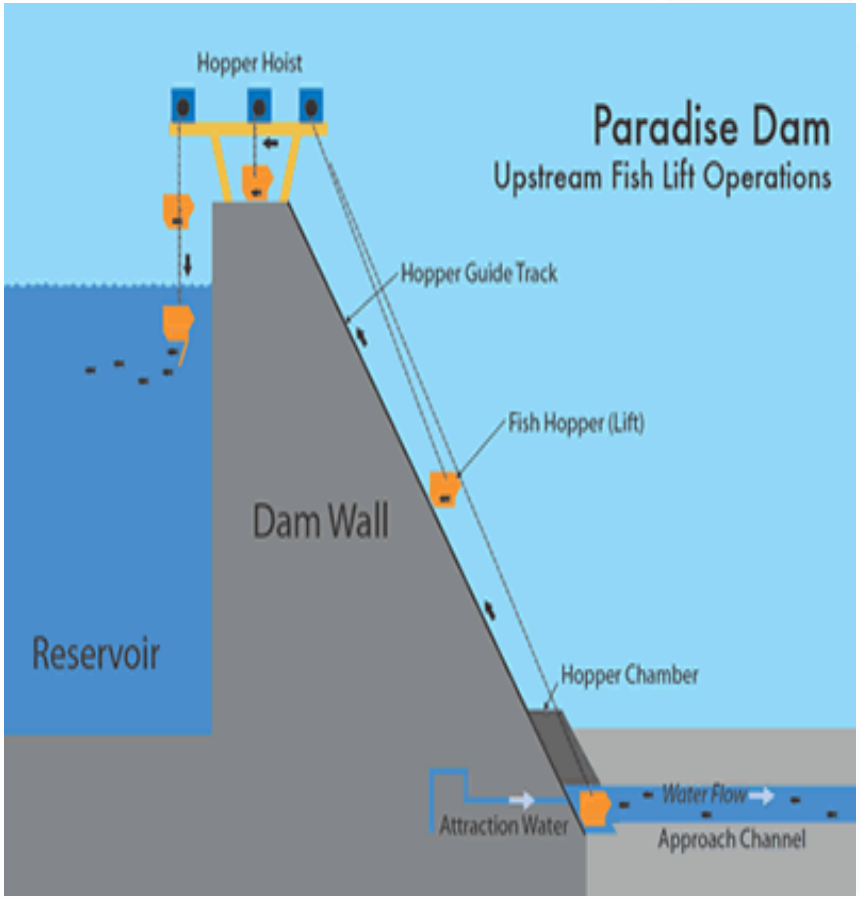
٤- **فاز سه :** اجرای سد

گروه های فنی اجرا:

- اما در مورد گروههای فنی که برای ساختن یک سد مورد نیاز است به گروههای زیر می توان اشاره کرد:
  - گروه هیدرولیک.
  - گروه هیدرولوژی.
  - گروه زیست محیطی.
  - گروه آبهای زیر زمینی.
  - گروه نقشه برداری.
  - گروه شهر سازی.
  - گروه کشاورزی.
  - گروه زمین شناسی.
  - گروه مدیریت و هماهنگی.

گروههای فنی ذکر شده در کنار یکدیگر پس از تصمیم برای اجرای یک سد گرد می آیند تا یک پروژه به نتیجه برسد. پس از انجام مقدمات مطالعاتی بر روی سد، نوع سد بر اساس منطقه جغرافیایی و مصالح در دسترس سد مورد ارزیابی قرار می گیرد. یکی از نکاتی که جغرافیای منطقه برای ما در ساختن سد مشخص می کند نوع خاک و زمین منطقه و یا دره ای که در آن سد می خواهد اجرا شود، حایز اهمیت می باشد، زیرا نوع بدنه سد و خاک منطقه بسیار حساس است. برای مثال در منطقه ای سنگی با تنگه ای باریک و تنگ ساختن سد خاکی اشتباه است زیرا تماس این دو ماده (بدنه سد و سنگی بودن منطقه) مانند چسباندن دوماده که یکی صلب و دیگری غیر صلب است می باشد و بر اثر تکان (زلزله) این دو در نقطه اتصال جدا می شوند که این خطر ناک است.

آبند در سدها:



مهندسان برای کاستن از احتمال گسیختگیها ناشی از عملکرد آب زیرزمینی، همواره درصدد هستند تا بخش در حال حفاری را آبکشی و خشک نمایند. البته باید توجه داشت که کنترل نیروهای ناشی از نشت آب هم می‌تواند به همان اندازه در جلوگیری از گسیختگی موثر واقع شود. روشهای متنوعی را که برای کنترل نشت و فرار آب زیرزمینی وجود دارد، می‌توان به سه دسته عمده تقسیم کرد که عبارتند از : آب بندها و موانع ، سیستمهای آبکشی ، زهکشها ، صافی ها (فیلترها).

آب بندها و موانعی را که بر سر راه جریان آب ایجاد می‌شود، می‌توان به سه دسته آسترها و پوششها ، دیوارها و تزریق تقسیم کرد.

آسترها و پوششها :

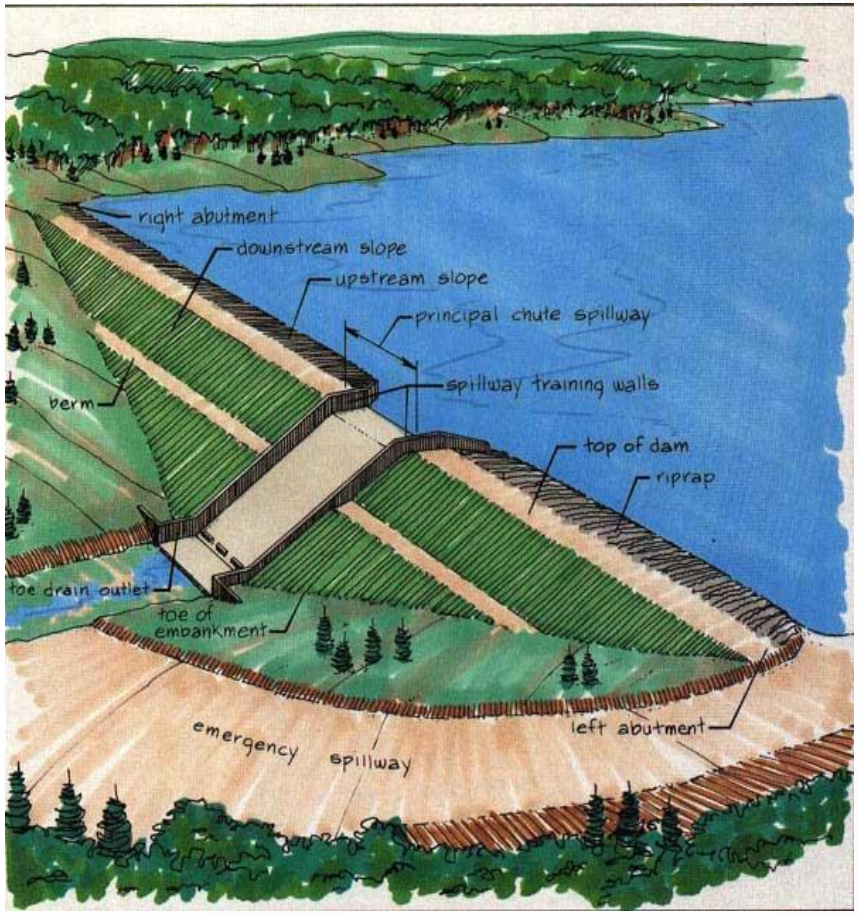
- آسترها و پوششها به صورت لایه‌ای نفوذ ناپذیر اجرا می‌شوند و دارای انواع زیراند:
- تعبیه ورقه‌ای از رس که در بستر دریاچه (به سمت سراب) ایجاد می‌شود و وظیفه آن افزایش مسیر افقی جریان آب در زیر زمین و در نتیجه کاهش فشار آب و میران نشت آن در پاشنه پایاب سد است.
- یک لایه (آستر) رسی یا پلاستیکی که برای جلوگیری از فرار آب از مخزن یا نشت سیالات ناشی از حمل وتجمع زباله‌ها اجرا می‌شود.

سر ریز در سدهای خاکی

سرریز سد عبارتست از مسیری پیش بینی شده برای عبور مقدار آبی که ماازاد بر حداکثر ضرفیت مخزن در نظر گرفته می شود، بطویکه بتواند همواره از بالا آمدن سطح آب مخزن به بالای تراز پیش بینی شده حداکثر جلوگیری کند. افزایش آب مخزن ممکن است به علت نوسانهای بارندگی و سیلابها، یا کم شدن تخلیه آب، و غیره باشد و از اینرو ظرفیت سرریز باید با توجه به همه عوامل دقیقاً محاسبه شود.

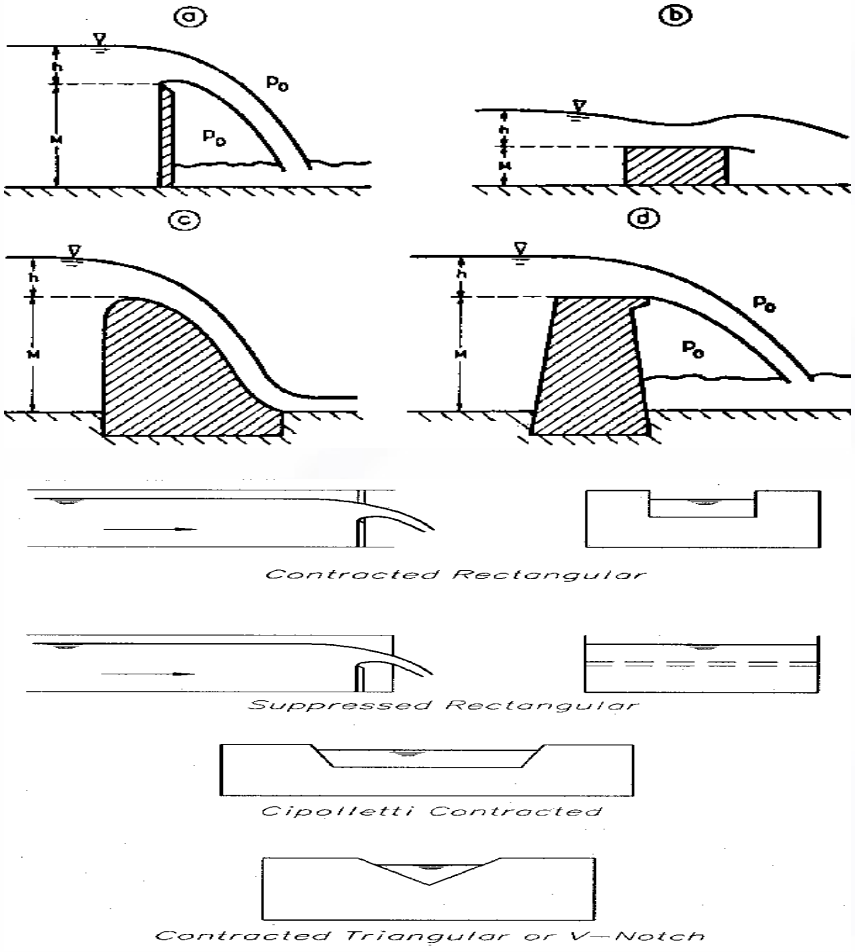
بطور خلاصه، در مورد سدهای خاکی ممکن است سرریز را بدون ارتباط با بدنه سد، بصورت تونل یا کانالی در تکیه گاههای طبیعی سد تعبیه نمود و یا اینکه در بدنه سد جائی برای آن در نظر گرفت. بندرت در سدهای خاکی ممکن است از تاج سد به عنوان سرریز استفاده شود که در اینصورت استحکامات کافی برای پوشش سد و تاج آن لازم است. در مواردی نیز می توان برای یک سد دو سرریز در نظر گرفت که یکی برای وضعیت های معمولی و دیگری برای طغیانهای استثنائی منظور شده باشد.

سر ریز:



- برای عبور آبهای اضافی و سیلابها از سراب به پایاب سدها از سازه ای به نام « سرریز » استفاده می شود. یکی از سازه های مهم سد ، سرریز می باشد با توجه به وظیفه ای که بر عهده آن می باشد، سرریز باید سازه ای قوی ، مطمئن و با کارآیی بالا انتخاب شود که هر لحظه بتواند برای بهره برداری آمادگی داشته باشد.
- معمولاً سرریزها را بر حسب مهمترین مشخصه آنها تقسیم بندی می کنند، این مشخصه می تواند در رابطه با سازه کنترل، کانال تخلیه و یا هر عضو دیگر آن باشد . بر حسب اینکه سرریز مجهز به دریچه و یا فاقد آن باشد، به ترتیب با نام سرریزهای کنترل دار و یا سرریزهای بدون کنترل شناخته می شوند .

نوع سرریزها معمولاً با عناوین :



- ۱- ریزشی
- ۲- اوجی
- ۳- جانبی
- ۴- شوت
- ۵- مجرایی
- ۶- تونلی
- ۷- نیلوفری
- ۸- سقوطی با بار شکن
- ۹- آبرو
- ۱۰- سیفونی

مشخص می گردد.

۱- سر ریز ریزشی آزاد (سرریز های با سقوط مستقیم):

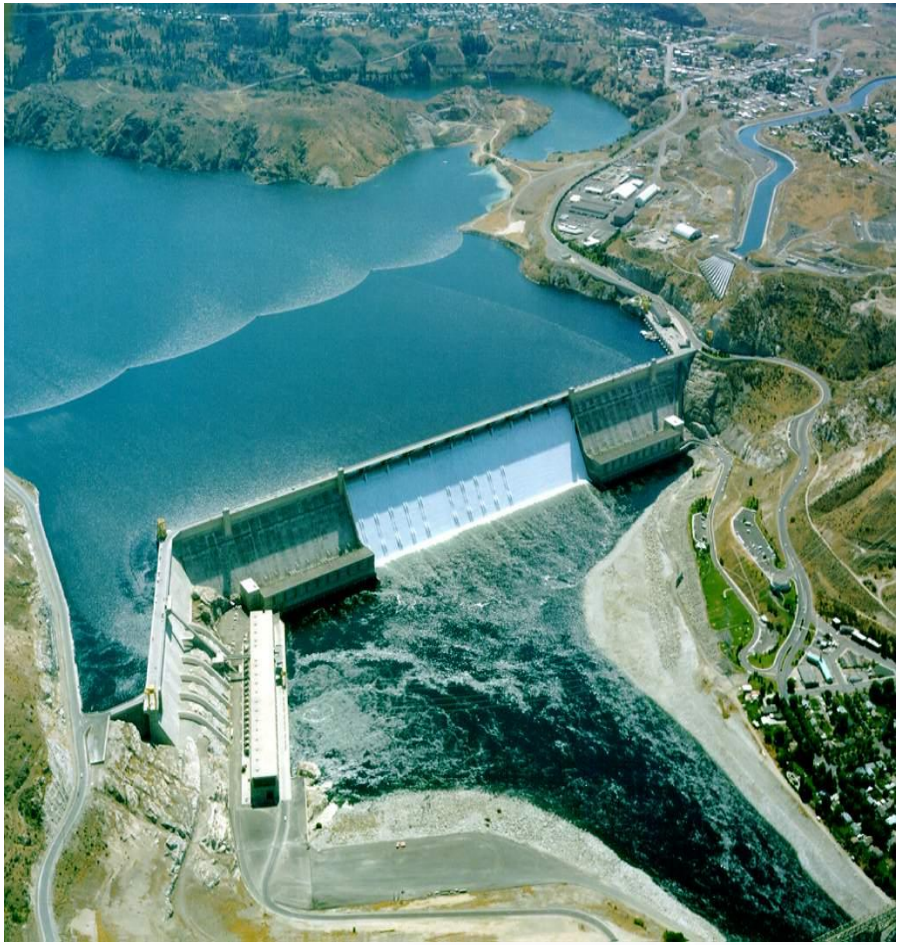
- در این نوع سرریزها جریان آب بطور آزاد از روی تاج سرریز فرو می ریزد. این سرریزها برای سدها ی بتنی قوسی نازک، سدهای پشت بنددار و یا تاجهایی که وجه پایین دست آنها تقریباً قائم است، مناسب می باشد. جریان ممکن است بصورت آزاد همانند یک لبریز لبه تیز انجام گیرد و یا تا فاصله کمی در روی اوجی هدایت شود . غالب اوقات تاج را بصورت یک لبه آویزان ادامه می دهند، تا جریانهای کوچک را به نقطه ای دورتر از دیواره مقطع سرریز شونده هدایت کند .
- در سرریزهای ریزشی آزاد، به زیر سفرهٔ آب به اندازهٔ کافی هوا داده می شود تا از شکل گیری جتهای ضربانی و نوسان کننده جلوگیری شود .

❑اگر هیچگونه تأسیسات حفاظتی مصنوعی در پای سقوط در نظر گرفته نشود، در بیشتر موارد در بستر رودخانه فرسایش ایجاد می شود و یک حوضچه استغراق شکل می گیرد عمق و حجم حوضچه تابعی از عمق پایاب، ارتفاع سقوط آب و تغییرات دبی جریان است .

❑فرسایش ناپذیری مواد بستر (مانند سنگ) اثر جزئی بر روی اندازه حوضچه دارد، چرا که فقط می تواند زمان حفر کامل حوضچه را به تعویق بیندازد. در مواردی که فرسایش بستر غیر قابل تحمل باشد، می توان با احداث یک سد کمکی در پایین دست سازه اصلی، به ایجاد یک حوضچه مصنوعی پرداخت. این کار همچنین می توان با حفر یک حوضچه انجام داد و سپس آنرا به کف بند بتنی مجهز ساخت .

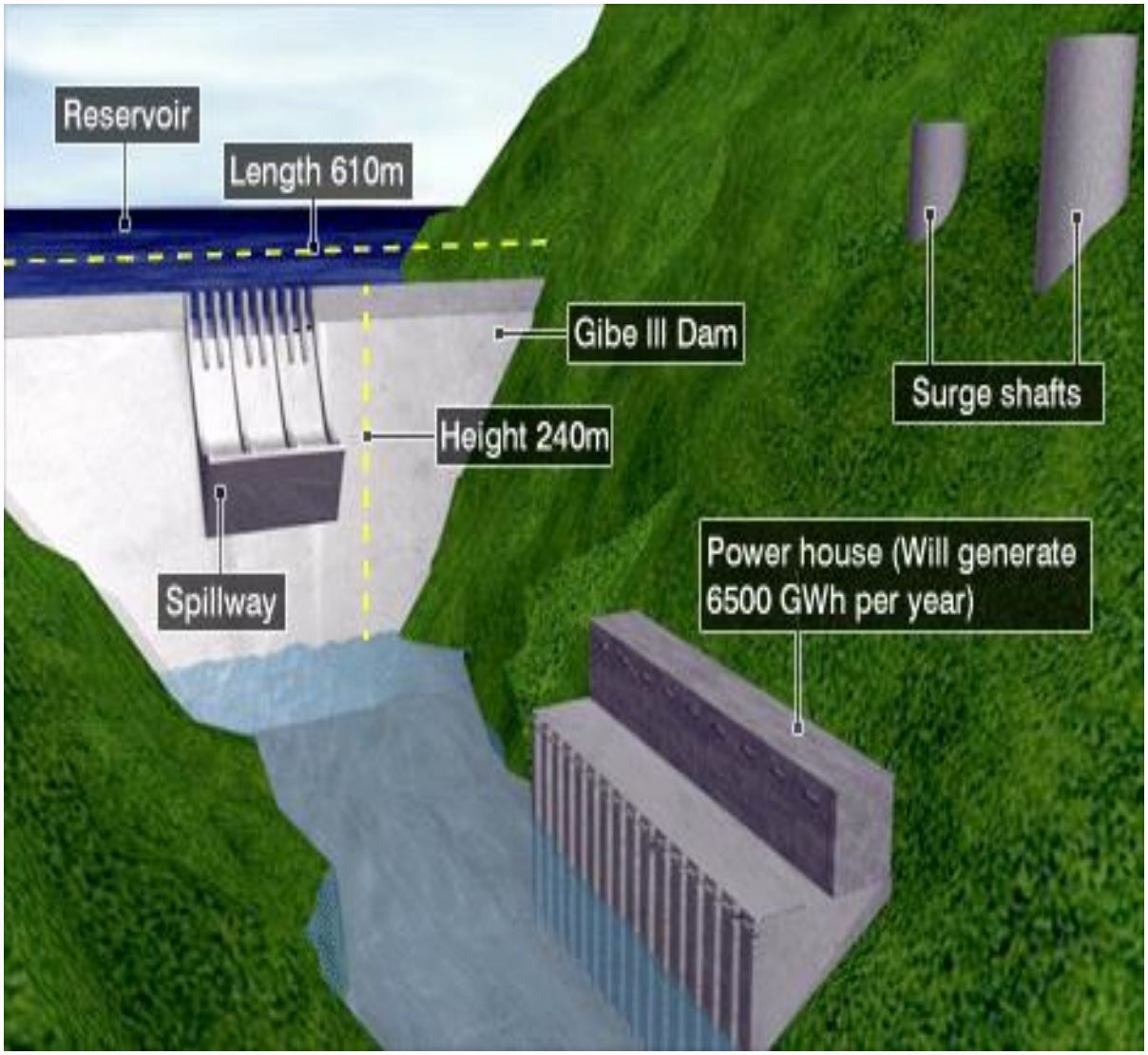
- از سرریزهای ریزشی آزاد، که در محدوده وسیعی از عمق پایاب بتواند مؤثر باشند، می‌توان در سدهای خاکی استفاده کرد. این سرریز از یک دیواره مستقیم مجهز به لبریز تشکیل شده که در قسمت بالای یک فلوم با مقطع مستطیلی کار گذاشته شده است.کف بند افقی آن بر رقوم کف رودخانه منطبق است و یا پایین تر از آن قرار می گیرد. در این حالت، به منظور کمک به تشکیل جهش هیدرولیکی و کاهش فرسایش پایین دست، سیستم به بلوکهایی در کف و یک آستانه در انتها مجهز شده است . این نوع سازه هیدرولیکی، برای اختلاف ارتفاعهای زیاد مناسب نیست، زیرا در اینصورت باید کف بند، نیروی عظیم برخورد جت با فونداسیون را تحمل کند. ارتعاشهای حاصل از این برخورد، ممکن است سبب ترک خوردگی و یا جابجائی قسمتهایی از سازه شود و خطر انهدام آنها در اثر بروز پدیده های جوشش ماسه (پایپینگ) و زیر شویی را به‌وجود آورد .

- معمولاً نباید در مواردی که اختلاف تراز آب مخزن و پایاب از ۶ متر متجاوز است، از این نوع سازه هیدرولیکی استفاده شود.
- به شرط وجود عمق کافی، هنگامی که جت آب به روی یک کف بند افقی سقوط می‌کند، جهش هیدرولیکی شکل خواهد گرفت. برای تعیین مولفه های جهش هیدرولیکی فوق‌الذکر می توان معادله مومنتم را در پای سقوط به کار گرفت .

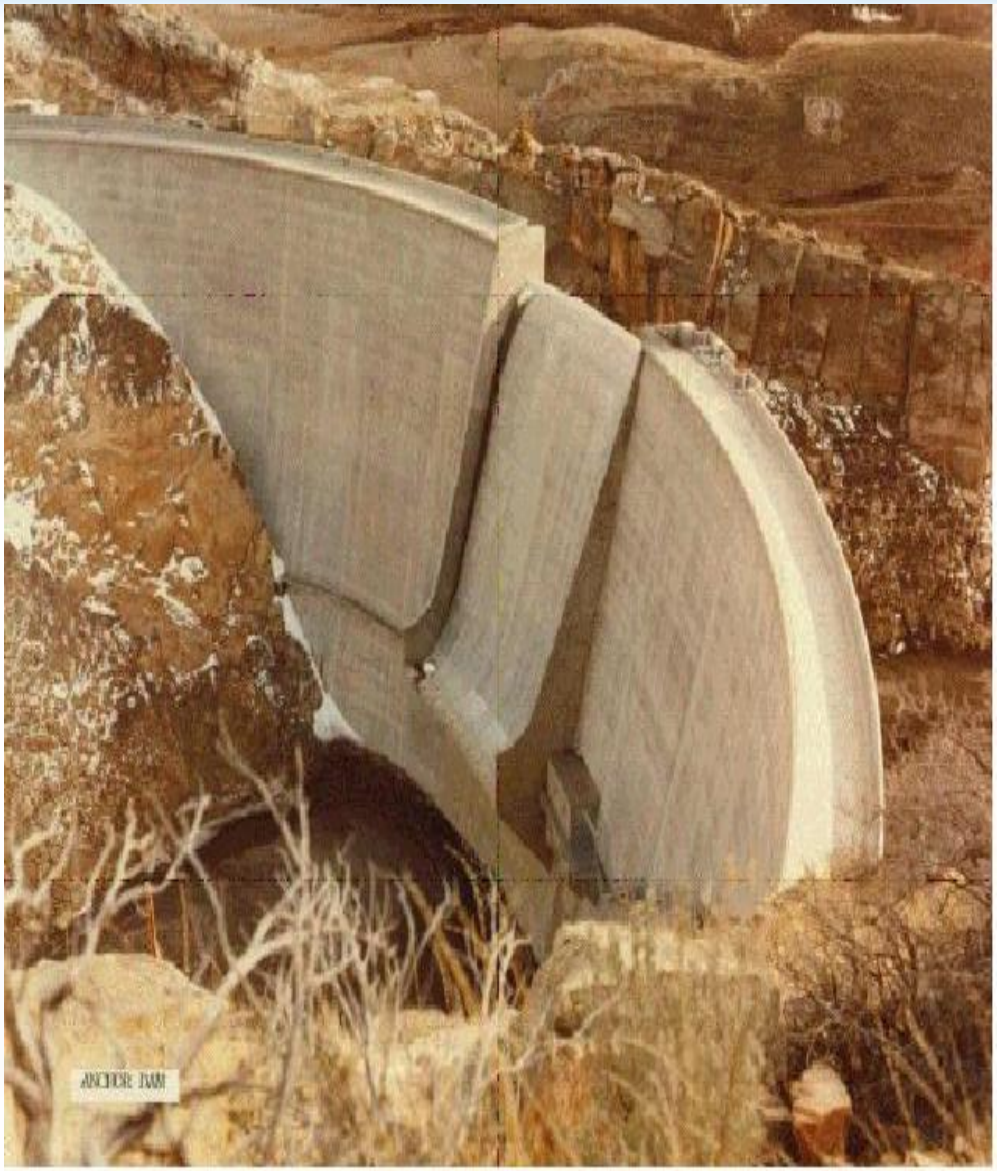


۲- سرریز اوجی (آبریز):

- این سرریزها یک لبریز کنترل دارند که به شکل منحنی اوجی (پیوند) یا دارای پروفیل S شکل است. معمولاً قسمت فوقانی منحنی پیوند طوری طراحی می شود که هر چه نزدیکتر، بر پروفیل زیرین سفره آبی که از روی یک لبریز لبه تند هوا دهی شده ، فرو می ریزد منطبق باشد. با جلوگیری از ورود هوا به زیر سفره آب، امکان تماس بین آب سرریز شده و پروفیل تاج سرریز فراهم می آید . برای دبی های نظیر ارتفاع طراحی، جریان آب بدون مزاحمتی از طرف لایه مرزی، به آرامی بر روی پروفیل تاج سرریز حرکت می کند و تقریباً حداکثر بازده تخلیه به دست می آید. پایین تر از قسمت فوقانی منحنی پیوند، پروفیل به صورت مماسی در طول یک شیب ادامه می یابد و بدین ترتیب ورقه آب را در روی سطح قسمت آبریز حفاظت می کند. در انتهای شیب، یک منحنی معکوس جریان را بداخل حوضچه آرامش و یا کانال تخلیه سرریز برمی گرداند .

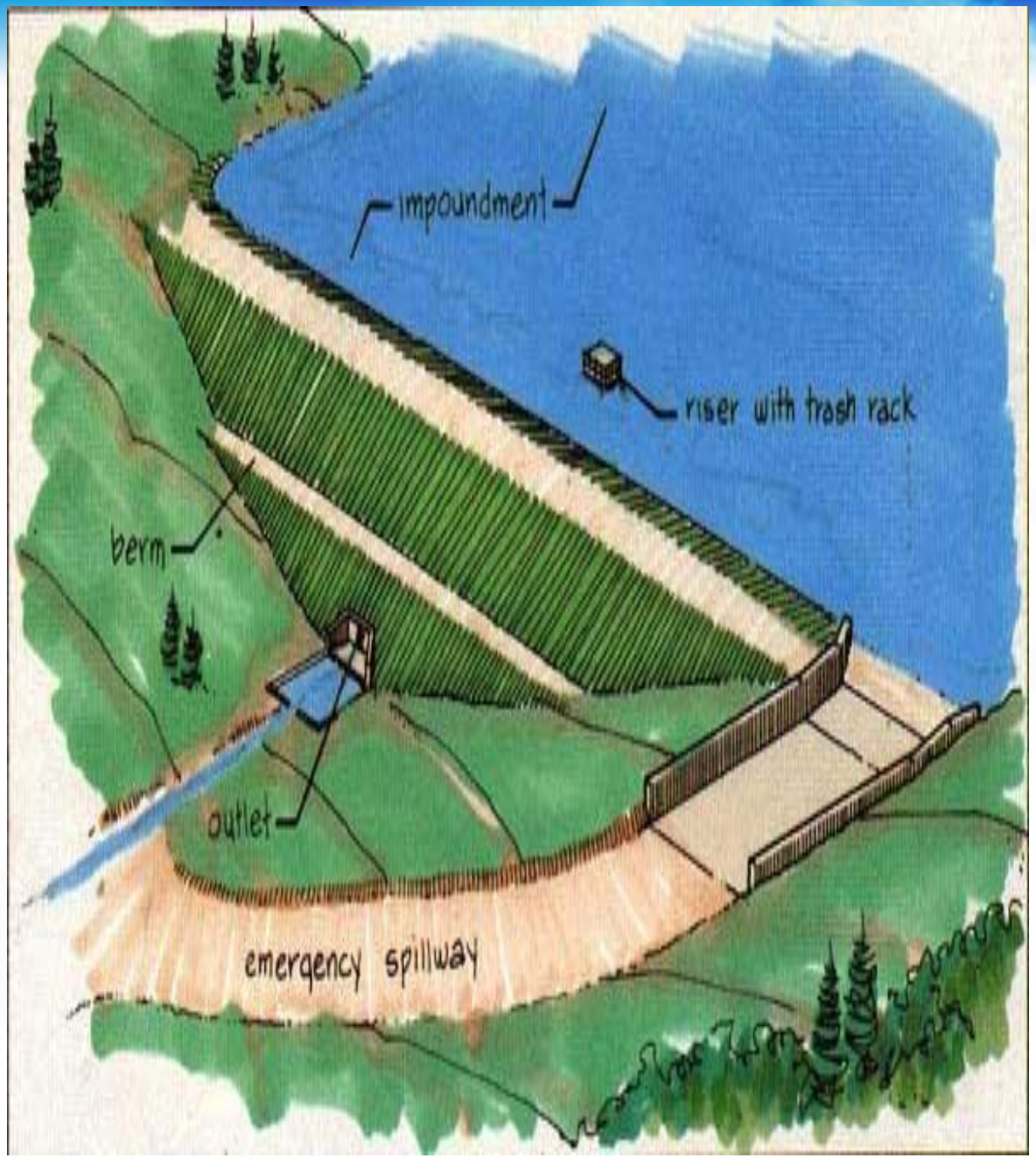

Reservoir
Length 610m
Gibe III Dam
Surge shafts
Height 240m
Power house (Will generate 6500 GWh per year)
Spillway

- منحنی فوقانی تاج سریز را می توان تند تر و یاملایمتر از پروفیل سفره ریزشی آب انتخاب کرد. شکل ملایمتر پروفیل سبب خواهد شد که ورقه آب به سطح پروفیل بچسبد و فشار هیدرواستاتیکی مثبتی را در سطح تماس پدید آورد. در این حالت، مقاومت جریان افزایش می‌یابد و بازده تخلیه سرریز کاسته می شود. برای پروفیل تندتر، امکان جدا شدن ورقه آب از سطح تاج وجود دارد که با وقوع فشار منفی در سطح تماس همراه خواهد بود. اثر این گونه فشارها ی منفی، در افزایش ارتفاع مؤثر است که در نتیجه بر د بی جریان می افزاید. یک تاج آبریز همراه با کف بند پایین دست، می تواند به عنوان یک سرریز کامل مورد استفاده قرار گیرد. این حالت را می توان در سدهای بتنی وزنی مشاهده کرد. در حالت دیگر، تاج آبریز ممکن است فقط بصورت سازۀ کنترل، برای انواع دیگر سرریزها مورد استفاده قرار گیرد .


ARCHER DAM

۳- سرریز جانبی:

- سرریز جانبی عبارتست از سرریز جداگانه ای که در کنار سد در دره ساخته می شود. جریان آب پس از عبور از سرریز جانبی وارد کانالی می شود که موازی تاج سرریز است و کانال جانبی نامیده می شود.
- معمولاً این نوع سرریز در قسمت باریک دره ساخته می شود. جریان آب پس از عبور از روی سرریز وارد کانال جانبی می شود و حدود ۹۰ درجه تغییر جهت می دهد. سپس جریان وارد شوت یا تونل می گردد. انرژی جنبشی جریان ناشی از پایین آمدن جریان آب، از روی سرریز توسط تلاطم داخل کانال جانبی مستهلک شده و سرعت دیگری در جهت موازی سرریز بوجود می آید. کانال جانبی باید آنقدر گود باشد که ارتفاع آب کافی جهت حرکت در آن بوجود آید. معمولاً سطح مقطع کانال متناسب با افزایش بدنه در جهت پایین دست جریان زیاد می گردد. جریان از شوت یا تونل معمولاً بصورت فواره به رودخانه وارد می شود. پرتاپ کننده جامی یکی از راههای مناسب هدایت جریان و مستهلک کردن انرژی می باشد .


impoundment
riser with trash rack
berm
outlet
emergency spillway

- خصوصیات هیدرولیکی تاج سرریز جانبی نیز شبیه خصوصیات سرریز آبریز معمولی است و از پروفیل تاج لبریزتبعیّت می کند. البته برای حداکثر جریان ممکن است خصوصیّات هیدرولیکی سرریز جانبی با سرریز آبریز تفاوت نماید. علت امر این است که امکان وجود محدودیت در کانال جانبی که به سهم خود سبب استغراق نسبی تاج سرریز می شود، وجود دارد. در اینصورت کنترل دبی جریان توسط عامل محدود کننده ای که در پایین بخش کانال جانبی وجود دارد، انجام خواهدگرفت .

❑سرریزهای جانبی، نه تنها از نظر هیدرولیکی کارآیی خوبی ندارند، بلکه از نظر اقتصادی نیز ارزان تمام نمی شود. البته دارای محاسنی نیز می باشند که کاربرد آنها را توجیه پذیر می‌کند. در مواردی که محدود کردن ارتفاع طراحی سرریز با طولانی تر شدن تاج سرریز همراه باشد و تکیه گاه ها دارای شیب تند و بصورت پرتگاه باشند، انتخاب سریزها ی جانبی می تواند بهترین گزینه باشد. همچنین در مواردی که لازم است تأسیسات کنترل به کانال یا تونل تخلیه باریکی وصل شود، سرریز جانبی می تواند مورد توجه قرار گیرد

٤ ـ سرریز شوت:

- در سرریز های شوت جریان آب مخزن اصلی از طریق یک کانال باز که در طول تکیه گاه سد و یا قسمت فرو رفته بین دو قله قرار می گیرد، به رود خانه می رسد. این تعریف را می توان بدون توجه به تأسیسات کنترلی که برای تنظیم جریان مورد استفاده قرار گرفته است، به کار برد. بنابراین، سازۀ کنترلی سرریز شوت می تواند به صورت تاج آزاد، روزنه دریچه دار، تاج جانبی و یا انواع دیگر باشد. تنها شرط لازم این است که کانال تخلیه آنها بصورت شوت باشد .
- البته سرریز شوت بیشتر به سرریزهایی اطلاق می شود که سازه کنترل سرریز تقریباً عمود بر محور یک کانال باز است و خطوط جریان در بالاو پایین تاج کنترل با محور سرریز هم سو هستند . سرریز های شوت در سدهای خاکی بیش از انواع دیگر به کار رفته است .

عواملی که سبب انتخاب این سرریز می شوند ، عبارتنداز :

۱) به سادگی قابل طرح و اجرا هستند .

۲) تقریباًدر کلیه شرایط فونداسیون می توان از آنها استفاده کرد .

۳) حجم وسیع خاکبرداری حاصله را می توان در بدنه سد خاکی مورد استفاده قرار داد و از این طریق از هزینه کاست . سرریز شوت، بر روی انواع مختلف فونداسیون از سنگ سخت تا زمین نرم با موفقیت اجرا و بهر ه بردای شده است .

- سرریز شوت معمولاً شامل یک آبراهه ورودی، یک سازه کنترل، کانال تخلیه سازه پایانه و یک آبراهه خروجی است.
- ساده ترین شکل سرریز شوت، یک محور مستقیم دارد و عرض آن در سرتاسر شوت ثابت است. اغلب لازم می شود که به منظور انطباق بر پستی و بلندی طبیعی، محور آبراهه ورودی و یا کانال تخلیه را بصورت قوس در نظر گرفت. در اینگونه موارد سعی می شود که حتی‌المقدور، بخاطر سرعت تقرّب کم، انحناء را به آبراهه ورودی محدود کرد. هر گاه لازم باشد که به کانال تخلیه قوس داده شود، کف شوت را می توان در سمت خارجی قوس بلندتر ساخت. در اینصورت جریان سریع در اطراف قوسها محافظت شده و از تراکم جریان آب در سمت خارجی شوت جلوگیری می شود. معمولاً انتخاب نهایی پروفیل شوت، با توجه به توپوگرافی منطقه و شرایط لایه های زیرین انجام می پذیرد. سازه کنترل نیز عموماً با محور سد در یک خط قرار می گیرد و یا بالا دست آن واقع میشود. معمولاً، برای به حداقل رساندن خاکبرداری، قسمت اولیه کانال تخلیه را با حداقل شیب ممکن تا آنجایی ادامه می دهند که کانال تخلیه به سطح زمین برسد. سپس قسمتی از کانال تخلیه که دارای شیب تند خواهد بود آغاز می‌شود و با توجه به شیب طبیعی زمین ادامه می یابد .

جریان در بالا دست تاج سرریز معمولاً در حالت زیر بحرانی است و به هنگام عبور از روی سازه کنترل به سرعت بحرانی میرسد. در شوت عموماً جریان به صورت فوق بحرانی و بر حسب مورد بصورت یکنواخت یا تند شونده خواهد بود. این حالت می تواند تا رسیدن به تأسیسات نهایی ادامه یابد. برای عملکرد خوب هیدرولیکی، لازم است که از تغییر ارتفاعهای ناگهانی و منحنیهای قائم مقعر و یا محدب در پروفیل شوت خودداری شود. به همین گونه، برای جلوگیری از بروز امواج عرضی و سوار شدن جریان بر روی دیواره ها، آشفتگی اضافی و یا توزیع غیریکنواخت جریان در تأسیسات نهایی باید همگرایی و واگرایی در سطح شوت تدریجی باشد .

سرریز پلکانی:

در بعضی موارد و زمانی که شیب برای احداث تنداب بسیار تند است، برای انتقال آب از سراب به پایاب از سرریز پلکانی استفاده می شود. همانطوری که در شکل دیده می شود در سرریزهای پلکانی چند حوضچه آرامش پشت سر هم قرار می گیرند. در سالهای اخیر در بعضی از سدهای وزنی سرریز پلکانی بدون حوضچه آرامش و بصورت پله های معمولی ساخته شده اند، **هدف در اینجا کاهش انرژی جنبشی مخرب در پایانه سرریز است.**

۵ ـ سرریزهای تونلی و مجرایی:

- ✓ هرگاه برای انتقال آب از یک مجرای سر پوشیده ای استفاده شود که از اطراف و یا زیر سد عبور کند، سرریز حاصله را به ترتیب ‹ سرریز تونلی و یا مجرایی › گویند.
- ✓ مجرای سرپوشیده می تواند به شکل یک شفت قائم یا مایل، یک تونل افقی از میان خاک یا سنگ و یا یک مجرای سرپوشیده ای باشد که در ترانشه‌هایی ساخته شده و سپس توسط مواد خاکی پشت آن پر می شود.

✓در قسمت کنترل این نوع سرریزها می توان از اغلب اشکال سازه های کنترل، مانند تاجهای آبریز دهانه‌های ورودی روزنه‌ای قائم و یا مایل، دهانه های ورودی سقوطی و تاجهای سرریز جانبی استفاده کرد. به استثنای مواردی که از دهانه های ورودی روزنه ای و سقوطی استفاده می شود، طرح این سرریزها به نحوی صورت می گیرد که در سرتاسر طول تونل جریان آزاد برقرار باشد. در مواردی که از دهانه ورودی روزنه ای و یا سقوطی استفاده می شود، قطر تونل به نحوی تعیین می گردد که فقط برای قسمت کوتاهی جریان تحت فشار باشد و در بقیه طول تونل جریان آزاد برقرار باشد. برای جلوگیری از شکل گیری و توقف متوالی عمل سیفونی، لازم است این گونه سرریزها به سیستم هوادهی گسترده ای مجهز شوند. این پدیده در مواردی اتفاق خواهد افتاد که قسمتی از تونل، به علت بر گشت آب و عملکرد امواج، موقتاً هوایش را از دست بدهد و بسته شود.

© Russ Finley

- برای تضمین جریان آزاد در تونل، نسبت سطح مقطع جریان به سطح مقطع تونل غالباً به حدود ۷۵ ٪ محدود می شود. ممکن است در نقاط بحرانی طول تونل، مجرای هوادهی ساخت تا هوای کافی به تونل برسد و مانع ایجاد جریان غیر دائمی در سرریز شود. در سدهایی که در دره‌های باریکی ساخته می شوند که دیواره های آنها شیب بسیار تندی دارد و یا در مواردی که کانالهای باز از خطر برف و لغزش سنگ مصون نیست، ممکن است سرریزهای تونلی رجحان داشته باشد .
- سرریزهای مجرایی ممکن است برای دره های عریضی که شیب دیواره های ملایم است و تکیه گاهها به فاصله نسبتاً زیادی از بستر رودخانه قرار دارند، مناسب باشد. استفاده از سرریز مجرایی اجازه خواهد داد که کانال تخلیه سرریز، زیر سد و نزدیک بستر رودخانه قرار داده شود.

٦ـ سرریز با دهانه سقوط:

- در این گونه سرریزها، همان طور که از اسم آنها پیداست، آب از روی یک تاج افقی وارد یک شفت قائم و یا مایل می شود و سپس از طریق یک تونل یا مجرای سرپوشیده تقریباً افقی به رودخانه می پیوندد. در واقع این نوع سرریزها را باید متشکل از سه عضو زیر دانست:
- ۱ـ لبریز کنترل
- ۲ـ تبدیل قائم
- ۳ـ آبراهه تخلیه سر پوشیده

- به سرریزهایی که دهانه آنها بصورت قیف است، سرریز نیلوفری می گویند. خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای با دهانه سقوط، با تغییرات ارتفاع آب روی سرریز متغیر خواهد بود. قسمت کنترل جریان ممکن است بر حسب دبی جریان در تاج سرریز تبدیل و یا تونل باشد. بعنوان مثال، هرگاه ارتفاع آب روی تاج سرریز کم باشد، جریان بصورت آزاد است و کنترل در تاج سرریز خواهد بود. با افزایش ارتفاع آب، قسمت کنترل به تبدیل قائم منتقل می شود و دبی جریان توسط جریان روزنه ای کنترل خواهد شد. از این مرحله به بعد ممکن است جریان مجاری تحت فشار حاکم شود و دبی جریان توسط تونل پر کنترل گردد. البته طرح سرریزها بر اساس تونل پر توصیه نمی شود. در مواردی که ارتفاع سقوط خیلی کم است، می تواند از این قاعده مستثنی باشد.

۷ ـ سرریز نیلوفری (لا له ای):

- سرریز نیلوفری (سرریز با دهانه سقوط) معمولاً در سدهایی که در درهٔ باریک اجرا شده‌اند و یا دارای شیب تند تکیه گاه می باشد، بکار می روند. همچنین در مواردی که تونل ها و گالریهای انحراف با قطر کافی در اختیار باشد، می توان از این نوع سرریزها استفاده کرد. یکی دیگر از نکات مثبت این سرریزها این است که با ارتفاع نسبتاً کم می توان به ظرفیت ماکزیمم آن نزدیک شد. این خصوصیت می تواند در مواردی که حداکثر جریان خروجی از سرریز باید محدود باشد، مفید واقع شود.

- از طرف دیگر اگر ارتفاع آب روی سرریز از ارتفاع مبنای طرح تجاوز کند، تغییرات دبی جریان خروجی بسیار جزئی خواهد بود. این نکته می تواند بعنوان یکی از نقاط ضعف این نوع سرریزها تلقی شود. چرا که اگر دبی سیل ورودی از سیل مبنای طرح تجاوز کند، ارتفاع لازم برای تخلیهٔ آن بسیار زیاد خواهد بود. البته در صورتیکه این نوع سرریز بعنوان سرریز اصلی عمل کند و در کنار آن یک سرریز کمکی نیز وجود داشته باشد. این ضعف بر طرف می شود

۸ـ سرریز ریزشی مجهز به بار شکن:

- ✓ از این نوع سرریزها در مواردی استفاده می شود که بخواهیم، بدون ساختن حوضچه آرامش، آب را از یک ارتفاع زیاد به ارتفاع کمتری منتقل کنیم. در این سرریزها پایه های بارشکن می تواند بصورت مانع عمل کند و سبب استهلاک انرژی آب شود. بدین ترتیب آب در مسیر حرکت خود دارای سرعت نسبتاً کمی خواهد بود. سرعت خروجی کم و اقتصادی بودن را می توان، بدون توجه به بلندی آبشار، از محاسن این نوع سرریزها دانست.

۹ ـ سرریز آبرو (زیر گذر):

- ✓ سرریز آبرو یک شکل خاصی از سرریزهایی است که آبراهه تخلیه آنها بصورت تونل و یا مجاری سر پوشیده است. سرریز زیر گذر از یک مجرا که از بدنه یا تکیه گاه های سد عبور میکند تشکیل می گردد. مقطع مجرای زیر گذر می تواند به شکل دایره ای، مربعی، مستطیلی، یا نعل اسبی ساخته شود.

✓تفاوت سرریز آبرو با سرریز مجهز به دهانه سقوط، در این است که دهانه ورودی آنها شکل قائم و یا مایل دارد و شیب کف آنها در سرتاسر مسیر تقریباً یکنواخت است و محدودیتی ندارد دهانه ورودی سرریز می تواند دارای لبه های تیز و یا مدور باشد و کانال تقرّب سرریز ممکن است دیواره های موازی و یا واگرا داشته باشد. کف کانال تقرب سرریز ممکن است مسطح و یا دارای یک شیب دلخواه باشد. هرگاه دهانه سرریز آبرو مستغرق نباشد، سیستم همانند کانال باز عمل خواهد کرد. ممکن است دهانه سرریز مستغرق باشد، ولی روزنه ورودی طوری تنظیم شده باشد که آبرو پر نشود. در اینصورت سرریز، مانند یک سرریز با دهانه سقوط یا یک سرریز شوت که کنترل روزنه ای بر آنها حاکم است، عمل خواهد کرد. هنگامی که عمل هواگیری منظور شده و جریان در آبرو بصورت پر است، عملکرد آن شبیه سرریز سیفونی خواهد بود. هرگاه از سرریز آبرو بصورت سرریز سیفونی استفاده شود. باید به نقاط ضعف سرریز های سیفونی (اشاره شده در بخش سرریزهای سیفونی) توجه کرد.

© Russ Finley

۱۰ـ سرریز سیفونی:

- ✓ سرریز سیفونی عبارتست از مجرای بسته به شکل *U* معکوس که تاج آن در سطح نرمال قرار می گیرد. هنگامی که سطح آب در مخزن بالای سطح نرمال قرار بگیرد، جریان از روی سرریز به شکل جریان آزاد رود گذر خواهد بود. عمل سیفونی شدن موقعی شروع می شود که هوای روی تاج مجرا خارج شود و جریان ادامه یابد.
- ✓ غالب سرریزهای سیفونی از ۵ جزء اصلی تشکیل شده اند، دهانه ورودی، ران رویی، گلوگاه یا مقطع کنترل، ران زیرین و مجرای خروجی.
- ✓ از سرریز سیفونی نیز می توان در سدهای خاکی استفاده نمود. به علت وجود فشارهای منفی، لازم است لولـه به اندازه کافی سخت باشد تا بتواند نیروهای مخرب را تحمل نماید. اتصالات باید کاملاً آب بندی شوند و اقدامات لازم برای جلوگیری از ترک خوردگی لولـه که ممکن است در نتیجه حرکت و یا نشست خاکریز حاصل شود، بعمل آید. برای جلوگیری از کاهش فوق العاده فشار مطلق و نزدیک شدن به حد کاویتاسیون، کل افت بار در سیفون نباید از ٦ متر تجاوز کند.

حسن عمده سرریز سیفونی در این است که با افزایش جزئی سطح آب بالا دست می تواند دبی کامل طرح را از خود عبور دهد حسن دیگر این نوع سرریزها در خودکار بودن و عملکرد خوب آنها بدون نیاز به وسایل مکانیکی یا وسایل محرک است. علاوه بر هزینه سنگین، در مقایسه با سایر سرریزها، سرریزهای سیفونی دارای معایبی هستند که موارد زیر از آن جمله است :

۱ ـ قادر نیستند یخ و آشغال را از خود عبور دهند.

۲ ـ امکان دارد سیفون و یا لوله هوا دهی، توسط شاخ و برگ درختان بسته شود.

۳ ـ امکان دارد در نتیجه تغییرات ناگهانی شروع و توقف عمل سیفون جریان خروجی بطور سریع قطع و وصل شود و یا بصورت امواج به رود خانه بریزد. این عمل سبب ایجاد نوسانهای ناخواسته در تراز پایاب رود خانه خواهد شد.

٤ ـ ارتعاشات در این نوع سرریزها، در مقایسه با سایر انواع بیشتر است. لذا لازمه استفاده از آنها ، داشتن فونداسیون خوب است که بتواند ارتعاشات را تحمل کند.

ضربت قوچی

ضربت قوچی آب در خطوط لوله را شاید بتوان پیچیده ترین و در عین حال جذابترین پدیده در نظر افرادی که با سیستمهای پمپاژ و انتقال آب سر وکار دارند به حساب آورد.

در این فصل عمدتاَ به سیستم های پمپاژ آب خواهیم پرداخت و راه حل های مسائلی را که ضربت قوچی به علت خاموش یا روشن شدن پمپ ها و یا عملکرد نادرست شیرآلات به وجود می آورد مورد تجزیه و تحلیل عملی قرار خواهیم داد و نیز به اهمیت استفاده از چرخ لنگر، تانک ضربه گیر تحت فشار، تانک ضربه گیر یکطرفه، دودکش های خط لوله، شیرهای یکطرفه ای که قابلیت بسته شدن سریع را دارند، شیرهای کنترل پمپ، شیرهای اطمینان، شیرهای هوا، سوپاپها، درپوشهای اطمینان و سایر تجهیزاتی که می توانند هزینه مقابله با پدیده ضربت قوچی را کاهش دهند خواهیم پرداخت و نقاط قوت و ضعف و محدوده عملی کار با هر یک و یا ترکیبی از آنها را مطرح خواهیم کرد.

برای یک طراح شاید تانک ضربه گیر تحت فشار مطمئن ترین روش مقابله با ضربت قوچی باشد و نیز در عین حال ممکن است مستقیم ترین راه حل این مشکل باشد ولی در عمل برای مجری طرح و بهره بردار شاید این روش گرانترین و مشکلترین راه حل باشد. از یک طرف طراحی سیستم های با سرعت جریان کم (موردی که در ایرا ن بسیار رایج است) باعث افزایش قطر لوله ها شده و سبب می شود که سالانه هزاران تن لوله اضافی در خاک مدفون بشود و اجرای پروژه ها با هزینه های سرسام آوری انجام یابد و از طرف دیگر اهمیت ندادن به مسائل ضربت قوچی (بخصوص در خطوط لوله با طول کم و یا ارتفاع استاتیک کم) مشکلات زیادی پیش می آورد که بهره برداری از سیستم ها را بسیار مشکل، پر هزینه و یا حتی غیر ممکن می کند چون در اغلب این موارد در نظر گرفته نمی شود که پدیده ضربت قوچی صرفاً ناشی از تغییرات ناگهانی سرعت آب در خط لوله است و به وجود آمدن آن ارتباطی به ارتفاع استاتیک و یا طول خط لوله ندارد. لذا آشنایی هر چه بیشتر کلیه دست اندرکاران سیستم های پمپاژ و انتقال آب با اصول اولیه این پدیده و روش های مقابله با آن کاملاَ ضروری است.

اصول اولیه

پدیده ضربت قوچی آب از تغییر ناگهانی سرعت جریان آب در خط لوله بوجود می آید. بعد از خاموش شدن ناگهانی پمپ، یک موج فشار از طرف پمپ به طرف انتهای خط لوله با سرعتی معادل سرعت صوت در خط لوله به حرکت در می آید (حدوداً ۱۰۰۰ متر در ثانیه)

این موج فشار با حرکت به انتهای خط لوله فشار را کاهش می دهد (Down Surge) و از انتهای مسیر با فشار اولیه سیستم منعکس می شود تا به شیر یکطرفه پمپ برسد و پس از برخورد با شیر یکطرفه بصورت موج فشار مثبت(Up Surge) منعکس می شود و این سیکل تناوب چندین بار تکرار می شود ولی با هر تکرار شدن به علت اصطکاک خط لوله و سایر عوامل کاهنده، مقداری از آن کاسته می شود تا به حالت ساکن برسد. در سال ۱۹۰۰ میلادی دانشمند روسی بنام ژوکوفسکی فرمولی برای محاسبه حداکثر تغییرات فشار ناشی از تغییرات ناگهانی سرعت ارائه کرد که به فرمول سنت پترزبورگ نیز مشهور است. طبق این فرمول حداکثر تغییر فشار ناشی از ضربت قوچی عبارتست از:

$$\Delta H = \frac{a \times \Delta V}{g}$$: حداکثر تغییر فشار ناشی از ضربت قوچی

a : سرعت انتشار موج فشاربر حسب (m/sec)

ΔV : تغییرات سرعت آب بر حسب (m/sec)

بسته به نوع لوله مورد استفاده، سرعت انتشار موج بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر در ثانیه متفاوت است ولی در لوله های پلاستیکی این سرعت ممکن است بسیار کمتر باشد. چنانکه این فرمول نشان می دهد طول خط لوله، ارتفاع استاتیک، و پروفیل طولی خط لوله هیچ تاثیری در بوجود آمدن و یا مقدار کاهش و یا افزایش فشار ناشی از ضربت قوچی آب ندارند، ولی این فاکتورها در تعیین نوع، ابعاد، و حجم تجهیزات مقابله با ضربت قوچی تاثیر دارند. بطور مثال، هر چه طول خط لوله بیشتر باشد و یا هر چه پروفیل طولی خط لوله مغشوش تر باشد ابعاد چرخ لنگر و یا حجم تانک ضربه گیر تحت فشار بزرگتر می شود و یا هرچه ارتفاع استاتیک سیستم بیشتر باشد ضخامت جداره تانک ضربه گیر تحت فشار و یا ارتفاع دودکش (Stand Pipe) و یا فشار کار شیرهای اطمینان بیشتر می شود، این موارد بصورت کامل تر در صفحات بعدی توضیح داده خواهد شد.

$$T_r = \frac{2L}{a}$$ زمان انعکاس موج فشار

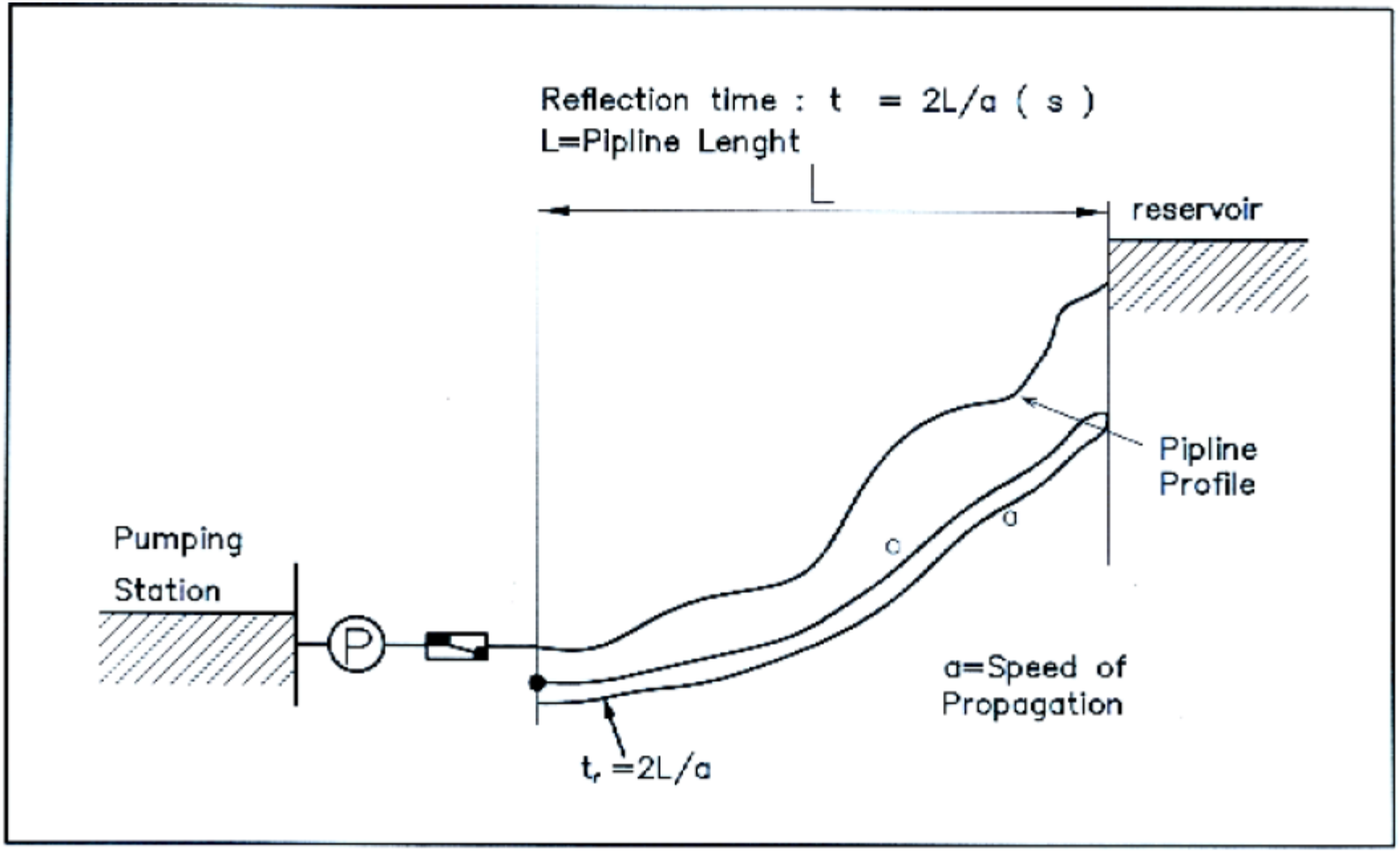
L: طول خط لوله

a: سرعت انتشار موج فشار در خط لوله

به طوریکه در شکل (۱-۱) نشان داده شده است مخزن واقع در انتهای خط لوله محل انعکاس موج محسوب می شود و زمان انعکاس عبارت است زمانی که موج فشار لازم دارد تا به نقطه شروع خود بازگردد.

در مثال زیر عکس العمل موج فشار ضربت قوچی در شرایط از کار افتادن ناگهانی پمپ مورد بررسی قرار می گیرد. البته در این مثال از ممان اینرسی کلیه قطعات در حال حرکت (مانند پمپ، موتور، کوپلینگ و...) صرف نظر شده است و نیز در نظر گرفته شده است که سرعت جریان آب V بطور ناگهانی به صفر می رسد.

در شرایط کاری عادی سیستم فشار ثابت H و سرعت جریان آب V در طول خط لوله به طول L وجود دارد.


Reflection time : t = 2L/a (s)
L=Pipline Lenght
L
reservoir
Pipline
Profile
Pumping
Station
P
c
a
a=Speed of
Propagation
t, =2L/a

زمان$T=0$: در این زمان پمپ بطور ناگهانی از کار می افتد و سرعت V به صفر می رسد طبق فرمول ژوکوفسکی افت فشاری معادل ΔH بوجود می آید.

زمان $T=\frac{L}{2a}$: در این زمان موج فشار ضربت قوچی به نصف راه رسیده است در جلوی این موج فشار، آب با سرعت V در جریان است در حالیکه سرعت در عقب موج فشار به صفر رسیده است و فشار به مقدار ΔH کاهش یافته است.

زمان $T=\frac{L}{a}$: در این زمان موج فشار ضربت قوچی به مخزن انتهایی رسیده است. در تمامی خط لوله سرعت آب به صفر رسیده و فشار معادل ΔH کاهش یافته است در مخزن انتهایی کاهش فشار نمی تواند باقی بماند و با فشار H منعکس می شود این موج فشار به طرف پمپ حرکت می کند.

زمان $T = \frac{3L}{2a}$: در این زمان موج فشار در نصف راه برگشت از مخزن انتهایی است بطوریکه در شکل نشان داده شده است در این محل در پشت موج فشار، فشار H و سرعت آب $-V$ وجود دارد ولی در جلو ی موج فشار، سرعت $V = 0$ و فشار $-\Delta H$ است.

زمان $T = \frac{2L}{a} = T_r$: در این زمان موج فشار ضربت قوچی به شیر یکطرفه روی پمپ می رسد. تمامی خط لوله در این حالت تحت فشار اولیه H قراردارد ، اما سرعت جریان آب $-V$ بطرف پمپ است. در این حالت موج فشار از شیر یکطرفه به صورت موج فشار مثبت انتشار می یابد و این سیکل که در بالا ذکر شد مجدداً تکرار می شود ولی این مرتبه با فشار مثبت.

زمان: $T = \frac{4L}{a} = 2T_r$ بعد از این زمان یک سیکل کامل به پایان رسیده است و سیکل جدید شروع می شود شکل (۱-۲).

علت های بوجود آمدن ضربت قوچی آب

چنانکه گفته شد تغییر سرعت باعث ایجاد موج فشار در خطوط لوله می شود و این تغییر سرعت در ایستگاههای پمپاژ به دلایل زیر ممکن است اتفاق بیافتد.

- روشن کردن یک یا چند پمپ
- خاموش کردن یک یا چند پمپ
- تغییر تنظیم شیرها و یا بسته شدن ناگهانی شیرها
- تغییر سرعت دورانی پمپ یا پمپها (در سیستم های دور متغیر)
- پر کردن غیر اصولی خط لوله
- استفاده از شیرهای یکطرفه نامناسب
- از کار افتادن ناگهانی یک یا چند پمپ

به غیر از مورد آخر با اتخاذ تدابیری مانند انتخاب شیرهای یکطرفه مناسب، بستن و یا باز کردن شیرها در خروجی پمپها به صورت کاملا آرام می توان تغییرات فشار را به حداقل ممکن رساند. یکی از دلایلی که موکدا توصیه می شود که قبل از روشن کردن یک پمپ، شیر خروجی بسته بوده و بعد از استارت زدن آرام آرام باز شود و نیز قبل از خاموش کردن پمپ اول شیر خروجی آرام آرام بسته شود و سپس پمپ خاموش شود، همین موضوع است. ولی در شرایط قطع ناگهانی برق این تدابیر قابل اجرا نخواهد بود و پدیده ضربت قوچی با شدت زیاد بوقوع خواهد پیوست و در این شرایط سیستم های حفاظتی که توضیح آن داده خواهد شد می توانند تاثیر تخریبی آن را تا حد قابل قبول کاهش دهند.

بسته شدن سریع شیرهای قطع و وصل

بسته شدن سریع شیر قطع و وصل در خط لوله باعث ایجاد موج فشار در خط لوله می شود این موج فشار در بالا دست شیر باعث شروع ضربت قوچی با فاز فشار مثبت و در پائین دست شیر باعث شروع ضربت قوچی با فشار منفی می شود. این موج فشار منفی در پائین دست شیر باعث گسیخته شدن ستون آب در خط لوله شده است. به این نوع گسیختگی که اغلب به علت بسته شدن بسیار سریع شیرهای قطع و وصل و یا شکسته شدن و افتادن ناگهانی دیسک شیرهای کشویی اتفاق می افتد گسیختگی متراکم(Concentrated Cavitation) گفته می شود. این نوع گسیختگی در نقاط مرتفع خط لوله نیز ایجاد می شود. خصوصیت اصلی این نوع گسیختگی آنست که همه و یا بیشتر مقطع خط لوله را بخار آب و یا هوا اشغال می کند.

شیرهای یکطرفه نامناسب

شیرهای یکطرفه ای که نتوانند سریع (قبل از معکوس شدن جریان در خط لوله) بسته شوند $T = \frac{2L}{a}$ باعث تشدید شدن ضربت قوچی و نیز بوجود آمدن پدیده کوبیده شدن دیسک شیرهای یکطرفه بنام **(Slamming effect)** می شوند که صدا و ضربه بسیار شدیدی ایجاد می کنند، این موضوع در قسمت شیرآلات بیشتر توضیح داده خواهد شد.

از کار افتادن ناگهانی پمپ

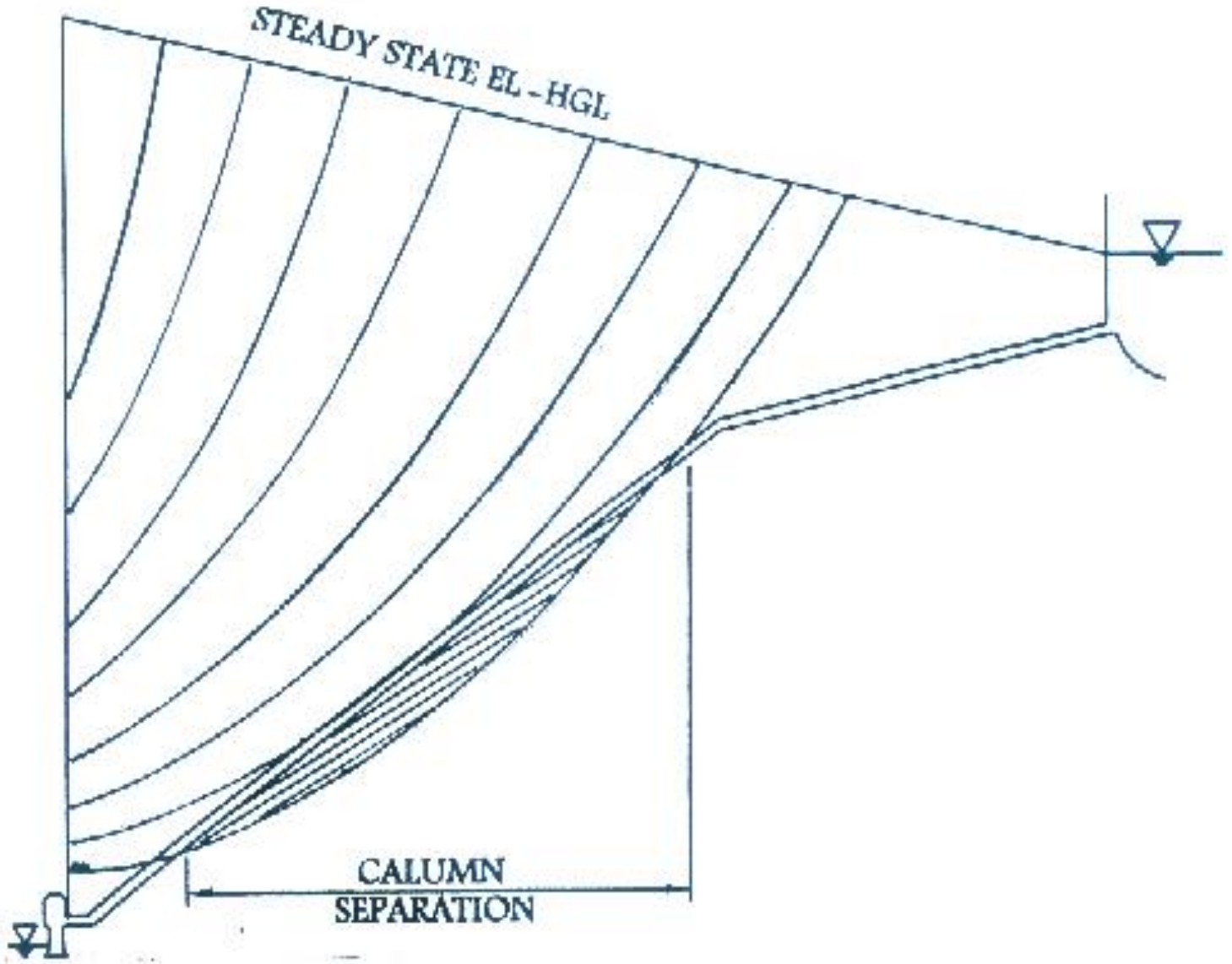
همان طور که توضیح داده شد بعد از قطع ناگهانی برق در ایستگاه پمپاژ در فاز اول فشار منفی ایجاد شده و با سرعت صوت در خط لوله به انتهای مسیر حرکت می کند اگر این فشار منفی به حدی باشد که در طول خط لوله منحنی کاهش فشار، منحنی پروفیل طولی خط لوله را قطع بکند در این حالت ستون آب داخل خط لوله به علت تبخیر شدن از هم گسیخته می شود و شرایطی را پیش می آورد که بسیار حادتر از شرایط عادی است و افزایش فشار ناشی از آن، از مقادیر قابل محاسبه با فرمول ژوکوفسکی بسیار بیشتر می شود.

افزایش فشار ناشی از خاموش شدن پمپ در خط لوله ای که سرعت آب در آن ۲متر در ثانیه است، به شرط اینکه ستون آب از هم گسیخته نشود مطابق فرمول ژوکوفسکی ۲۰۰ متر ستون آب خواهد بود.

پرکردن غیر اصولی خط لوله

در هنگام پر کردن خطوط لوله چون مقاومت کمی در مقابل پمپ وجود دارد مقدار آبدهی پمپ بسیار زیاد است. در این حالت اگر شیر نیم بسته در خط لوله باشد و یا جسم خارجی (به علت تمیز نکردن کامل خط لوله قبل از پر کردن) وجود داشته باشد در این حالت بطوریکه در شکل نشان داده شده است، هوای موجود در لوله با سرعت زیاد از شیر هوا تخلیه می شود، این امر باعث افزایش سرعت آب پشت توده هوا می شود و به محض اینکه آخرین حباب هوا از شیر هوا تخلیه شد. سرعت آب بطور ناگهانی کاهش می یابد (چون آب نمی تواند به سهولت و سرعت هوا از شیر خارج شود) و این تغییر سرعت ایجاد ضربت قوچی می کند.

در قسمتهایی از شکل که هاشور زده شده است امکان گسیختگی ستون آب وجود دارد



اصول پیشگیری، کاهش و مقابله با ضربت قوچی

این اصول را به دو دسته می توان تقسیم کرد:

شرایط قابل کنترل : و آن شرایطی است که قطع ناگهانی برق وجود ندارد و روشن و خاموش کردن پمپها و باز بسته کردن شیرها را می توان کنترل کرد.

شرایط خارج از کنترل : و آن شرایطی است که قطع ناگهانی برق وجود دارد و تغییرات سرعت جریان آب خارج از اختیار ما است.

شرایط قابل کنترل

درست است که بیشترین خطرات در شرایط خارج از کنترل بوجود می آید ولی چنان که تمهیدات لازم اتخاذ نشود شرایط قابل کنترل نیز مانند شرایط خارج از کنترل می تواند خطرناک باشد. بطور مثال خاموش کردن عمدی و ناگهانی یک پمپ هیچ فرقی با خاموش شدن ناگهانی پمپ به علت قطع برق ندارد با این تفاوت که خاموش شدن ناگهانی پمپها به علت قطع برق ممکن است هر از چند گاهی یک بار و بصورت اتفاقی پیش می آید ولی خاموش کردن و روشن کردن پمپ ها موردی است که ممکن است هر روز و یا هر چند ساعت بارها نیاز باشد. لذا استفاده از وسایل لازم برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سرعت آب کاملاً ضروری و شرط اول بوده و استفاده کردن از شیرهای یکطرفه با سرعت بسته شدن زیاد کاملاَ ضروری است.

تجهیزات لازم برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سرعت

استفاده از شیرهای یکطرفه با سرعت بسته شدن زیاد

استفاده از شیرهای کنترل پمپ در خروجی پمپ ها

استفاده از شیرهای قطع و وصل مجهز به محرکهای الکتریکی در خروجی پمپها

استفاده از سیستم های الکتریکی دور متغییر در ایستگاههای پمپاژ

شرایط خارج از کنترل

آنچه در بخش قبلی یعنی شرایط قابل کنترل گفته شد مربوط به تدابیری بود که اغلب در ایستگاههای پمپاژ می بایستی اتخاذ شود ولی در شرایط خارج از کنترل تمهیدات لازم برای مقابله با پدیده ضربت قوچی ممکن است در ایستگاههای پمپاژ و یا در طول خط لوله و یا در هر دو لازم باشند.

شرایط خارج از کنترل به دو بخش تقسیم می شوند:

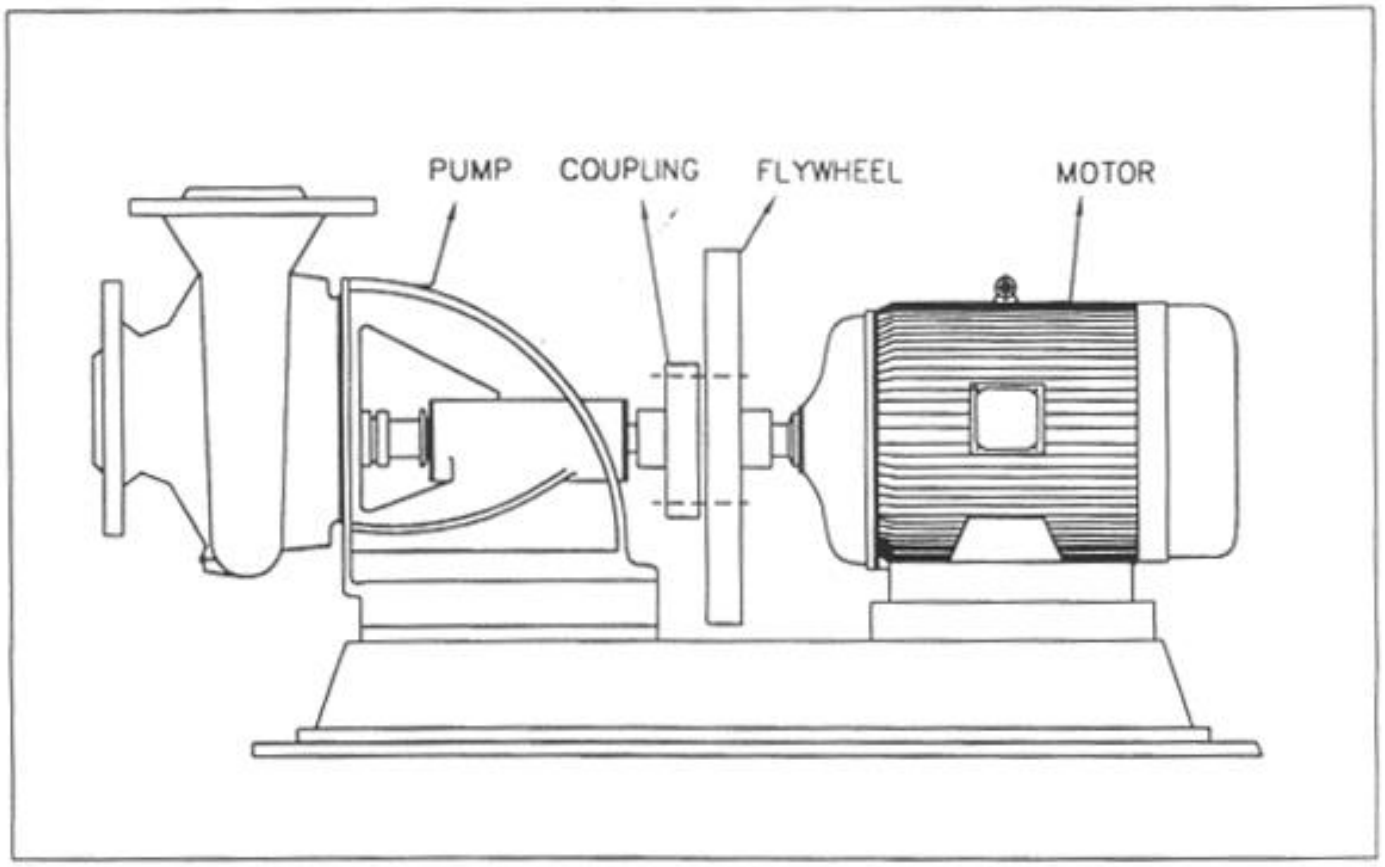
الف – شرایطی که در آن احتمال گسیختگی ستون آب وجود ندارد و فقط افزایش فشار (فشار مثبت) ایجاد مشکل می کند.

ب – شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد و باید هم با مشکل کاهش فشار (فشار منفی) بیش از اندازه و هم با مشکل افزایش فشار (فشار مثبت) مقابله کرد.

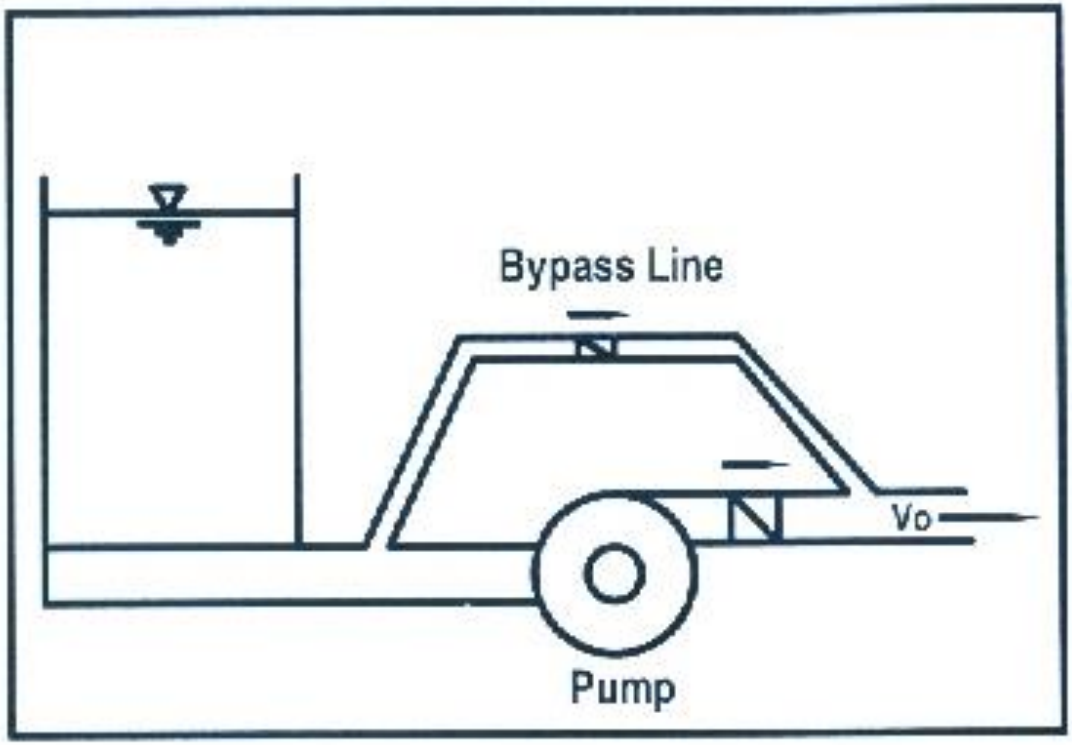
روش های مقابله با افزایش فشار

چرخ لنگر Flywheel

برای خطوط لوله ای که طول کمتر از ۲ کیلومتر دارند یکی از بهترین روش های مقابله با ضربت قوچی نصب چرخ لنگر بین پمپ و الکترو موتور است.
مکانیزم عملکرد چرخ لنگر چنین است که بعد از قطع جریان برق از کاهش سریع دور موتور جلوگیری می کند و در نتیجه فشار منفی کمتری در اثر ضربت قوچی ایجاد می شود و چون فشار منفی کمتری ایجاد می شود به همان نسبت افزایش فشار نیز کمتر خواهد شد. نصب چرخ لنگر ممان اینرسی الکتروپمپ را افزایش می دهد و چون هیچگونه قطعه مکانیکی پیچیده ای ندارد لذا می توان گفت که چرخ لنگر هزینه بسیار کمتری نسبت به سایر تجهیزات داشته و تقریباً هیچگونه مشکل نگهداری ندارد.


PUMP
COUPLING
FLYWHEEL
MOTOR

Pump Bypass لوله کنارگذر پمپ



شیرهای هوای دو روزنه

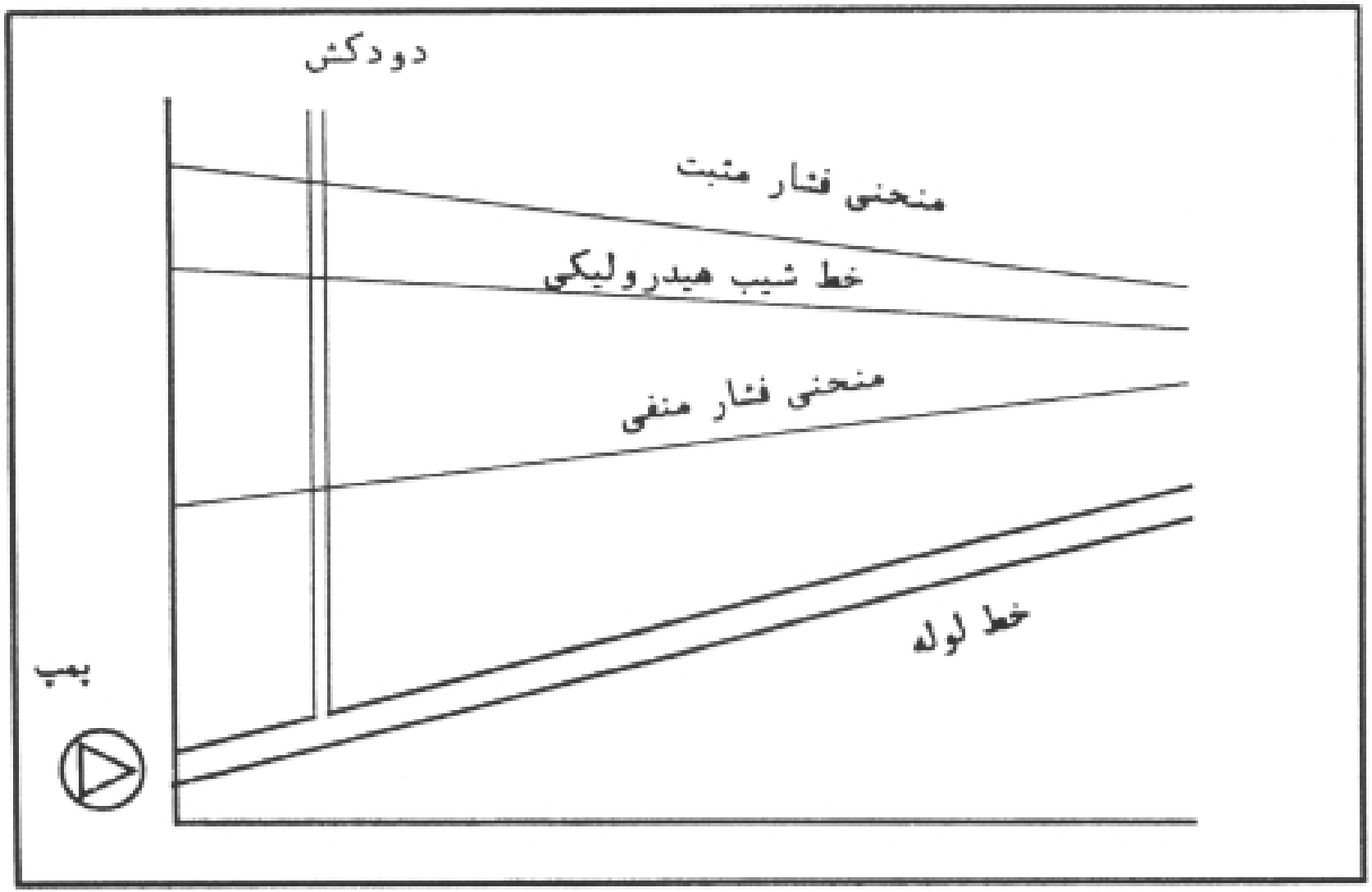
این شیرها دارای یک روزنه بزرگ و یک روزنه کوچک هستند کار روزنه بزرگ این است که با افت فشار در خط لوله، باز شده و هوا را به داخل خط لوله وارد کند و سپس با افزایش فشار، روزنه بزرگ بسته شده و هوای جمع شده در داخل خط لوله از طریق روزنه کوچک از خط لوله خارج می شود معمولاً تولید کنندگان شیر هوا این روش را برای جلوگیری از مسئله ناشی از افت فشار بیش از حد در نقاطی از خط لوله که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد توصیه می کنند (چون با وارد شدن هوا تحت فشار جو به داخل خط لوله از کاهش فشار در آن مقطع جلوگیری می شود)

ولی این مسئله مشکلات بسیار زیادی در خط لوله ایجاد می کند چون در شیرهای هوای دو روزنه، هوا با حجم زیاد در مدت زمان اندک از روزنه بزرگ وارد خط لوله می شود ولی تخلیه آن از طریق روزنه کوچک که مقطع عبور هوا در آنها فقط چند میلیمتر مربع است زمان طولانی نیاز دارد.

دودکش خط لوله Stand pipe

در زمان از کار افتادن پمپ، این وسیله در فاز فشار منفی، آب را از داخل خود به خط لوله می فرستد تا از کاهش سریع سرعت آب جلوگیری بکند و در فاز فشار مثبت آب از خط لوله داخل آن می شود تا فشار به مقدار غیر مجاز افزایش پیدا نکند.

در سیستم های پمپاژ با ارتفاع استاتیک کم دودکش خط لوله Stand pipe وسیله ای بسیار مناسب با ضریب اطمینان بسیار زیاد برای مقابله با ضربت قوچی است. البته در مناطقی از دنیا مانند ونزوئلا خط لوله ای با دودکش به ارتفاع ۸۲ متر نیز وجود دارد که از نظر مهندسین محاسب مقرون بصرفه ترین و مطمئن ترین وسیله تشخیص داده شده است۰ در خطوط لوله پمپاژی که رقوم زمین در ابتدای خط لوله ارتفاع زیادی دارد و سپس مسافت طولانی را با ارتفاع کم طی می کند استفاده از ترکیب تانک ضربه گیر تحت فشار در ابتدای خط لوله برای حفاظت قسمت های با تغییر ارتفاع زیاد و دودکش خط لوله برای حفاظت قسمت های با تغییرات ارتفاع کم، می تواند ابعاد تانک ضربه گیر تحت فشار را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد .

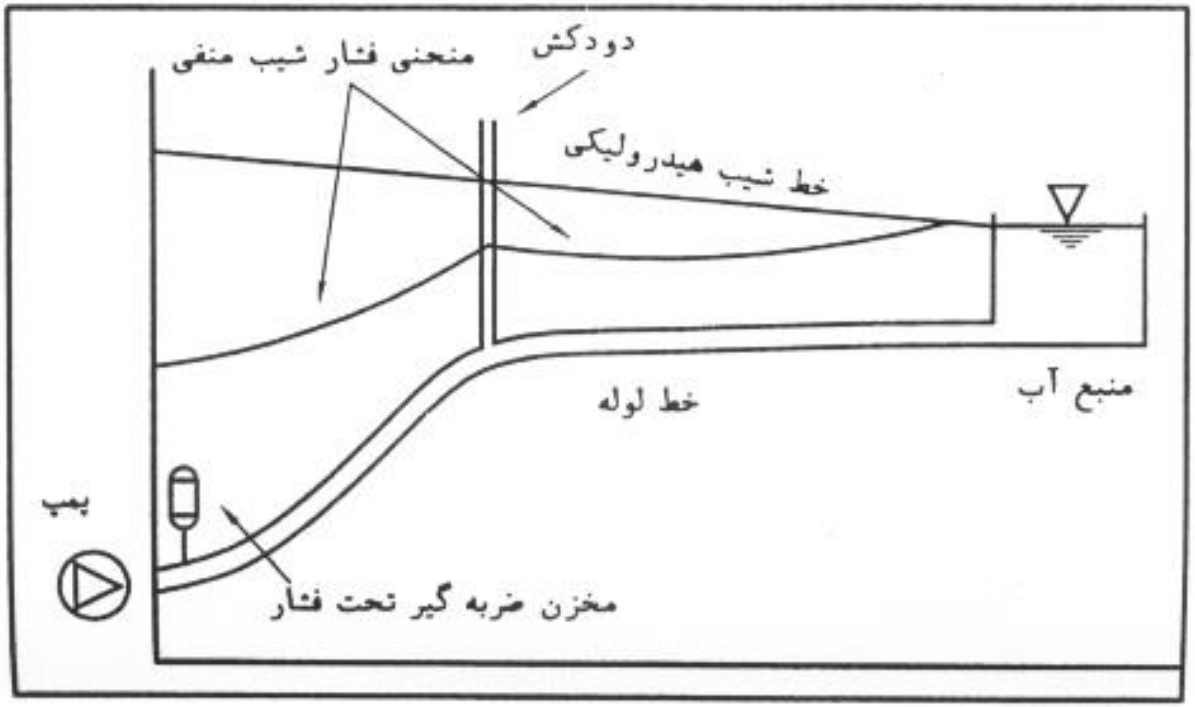

دودکش
منحنی فشار مثبت
خط شیب هیدرولیکی
منحنی فشار منفی
خط لوله
پمپ

تانک ضربه گیر یکطرفه

این تانکها طوری ساخته می شوند که آب فقط بتواند از آنها وارد خط لوله شود ولی از خط لوله نتواند داخل تانک جریان پیدا بکند و این کار با نصب یک شیر یکطرفه بین خط لوله و تانک ضربه گیر یکطرفه امکان پذیر می شود. این وسیله فقط در فاز فشار منفی عمل می کند بدین ترتیب که با کاهش فشار خط لوله شیر یکطرفه باز شده و آب داخل تانک ضربه گیر یکطرفه وارد خط لوله می شود تا از افت فشار غیر مجاز جلوگیری کند و در فاز فشار مثبت شیر یکطرفه بسته می شود تا آب پر فشار داخل خط لوله وارد تانک نشود. مقدار آبی که از تانک داخل خط لوله جریان پیدا می کند توسط یک شیر فلوتر مجدداً تأمین می شود تا سطح آب داخل تانک همیشه در ارتفاع مورد نظر باقی بماند. چنانکه گفته شد تانک ضربه گیر یکطرفه فقط از بوجود آمدن فشار منفی غیر مجاز جلوگیری می کند و در مقابل افزایش فشار در فاز فشار مثبت کاری از آن ساخته نیست و افزایش فشار باید با استفاده از تجهیزات دیگری مانند شیرهای اطمینان کنترل شود

تانک ضربه گیر تحت فشار Air Chamber

در میان تجهیزات مقابله با ضربت قوچی تانک ضربه گیر تحت فشار بیشترین و ایده آل ترین امکانات را در مقابل پدیده ضربت قوچی فراهم می کند. این وسیله هم در فاز فشار منفی و هم در فاز فشار مثبت عمل می کند بدین معنی که هم از گسیختگی ستون آب جلوگیری می کند و هم افزایش فشار را جذب می کند.



همتم بدرقه ی راه کن ای طایر قدس
که دراز است ره مقصد و من نوسفرم