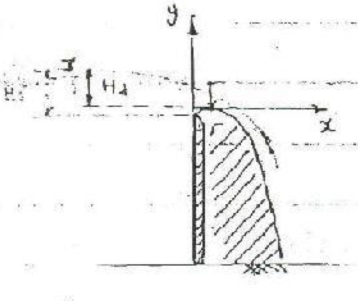
ابعاد سرریز و طراحی اجزاء مختلف آن مانند حوضچه آرامش، در طراحی سد به کلی مشخص می‌شود. سرریز را معمولاً از بتن سنگی می‌سازیم و کیفیت بتن معمولاً بالاست... خیلی مهم است که زبری سرریز به حداقل برسد.

+ Overflow Spillway (سرریز لبریز)



$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \cdot L \cdot H_s^{3/2}$$

$$C_d = 0.622$$

$$\Rightarrow \boxed{Q = 1.837 L \cdot H_s^{3/2}}$$

بهتر است سرریز شکل سطح آب را به خود بگیرد. به این شکل، منحنی اوجی گفته می‌شود.

X/Hs	Y/Hs
0	0
0.85	0.0575
0.1	0.086
0.15	0.1025
0.2	0.1105
0.25	0.1120
0.3	0.1105
⋮	⋮

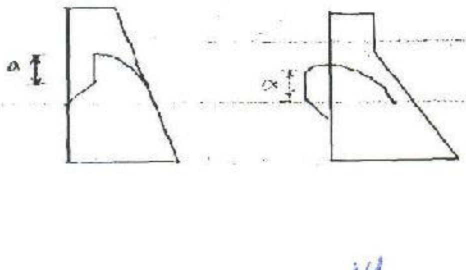
max انتخاب می‌شود

Hd : فاصله تاج سد تا ارتفاع آب

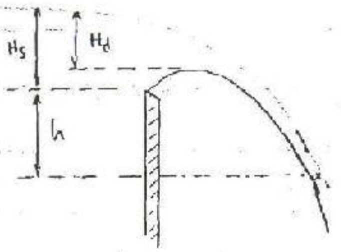
$$H_d = (1 - 0.1120)\, H_s$$

$$\boxed{Q = 2.195 \cdot L \cdot H_d^{3/2}}$$

ممکن است به خاطر هزینه زیاد مجبور شویم سرریز را جلوتر یا عقب‌تر اجرا کنیم. این کار عملی است ولی شرط زیر باید رعایت شود:

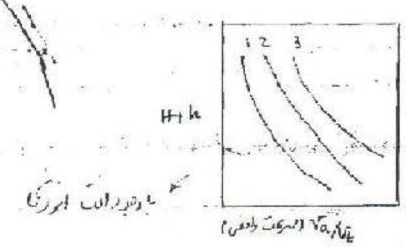


$$a \geq \frac{H_d}{2}$$



$V_{تئوری} = \sqrt{2g(H+h)}$

بدون افت انرژی

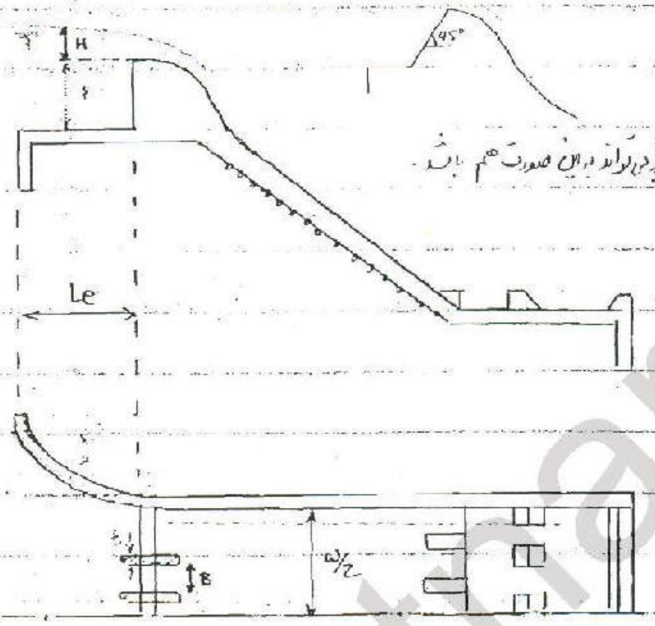


ص 57

- Chute Spillway
  - (i) Control Section
  - (ii) The Chute
  - (iii) Discharge Section

وقتی جریان انرژی سرریز عبور کرد چون وضعیت جریان فوق بحرانی است جریان دیگر تغییری نمی کند.
باید دبی خارج شده را به پایین دست یا رودخانه برسانیم.
بشوت (سرسره) کنترل جریان پس از سرریز تا کف رودخانه را انجام می دهد.
دبی به سرعت فوق العاده به پایین دست می رسد و دارای انرژی زیادی است. این انرژی باید مستهلک شود قبل از اینکه به رودخانه برسد. چون باعث فرسایش شدید در تکیه گاه ها و ... خواهد شد.
این بخش وظیفه سرریز می باشد.
هم در سدهای خاکی و هم در سدهای بتنی از این سرریز استفاده می شود.

4- سه وظیفه اصلی سرریز عبارتند از:
1- تاج سرریز دبی را از مخزن خارج می کند
2- شوت، جریان را از سرریز به پایین دست انتقال می دهد.
3- حوضچه آرامش، انرژی زیاد جریان را مستهلک می کند تا وارد رودخانه شود.



پارامترهایی که باید در طراحی سرریز طراحی شوند عبارتند از:

1. Entrance Design → { Le = 2 Hmax طول ورودی
2. Crest Design | R = 2 Hmax
3. Piers دیواره‌هایی که باید شکل نوک تیز مناسبی
4. Chute Width داشته باشند که بهترین شکل دایره می‌باشد
5. Chute Velocities & Depths که در نتیجه موج‌هایی ایجاد نشود
6. Air Entrainment
7. Vertical Curves
8. Joints & Drains
9. Stilling Basin

- در ورودی پایه cut off ها را داریم که وظیفه آن کاهش تراوش و زیر فشار است. هرچه این cut off عمیق‌تر داشته باشد آب کمتری باید توسط زهکش‌ها خارج شود.

$Q = CLH^{3/2}$ (رابطه اساسی برای طول سرریز)

Hd/P	⊓	⋀
0		
1		
2		
3		
4		

(مقدار C در جدول 3 ص 67)

۳ - دیتن پایه پیشنهاد می‌کند Hd/P را برای 4 در نظر بگیرم (Hd/P ≈ 4)

برای یکنواختی جریان

۲.۳ - از نظر پارامترهای شکل سرریز، تاج سرریز می‌باشد که در جدول صفحه 127 مشخصات آن داده شده است

X/Hs	H/P 0.44	0.59	0.74
مقادیر Y/Hs ←	—	—	—

معمولاً سعی می‌کنیم جریان با حداکثر هد (H) از روی سرریز عبور کند

طول تاج سرریز از مهم‌ترین پارامترها در طراحی سرریز است.

← کف پایه‌ها در سرریزها یک حدی است گاهی اوقات برای اینکه دریچه‌ای در روی سرریز بتوان تعبیه کرد در پایه تکیه‌گاه‌هایی ایجاد کنیم که همان پایه‌ها هستند.

دریچه‌ها با تأسیسات فولادی سنگین است که جایگاه خاصی برای نصب کردن احتیاج دارند.

← پایه‌ها برای پل و امکان نصب دریچه‌ها می‌باشند.

۳.۱ - پیشنهاد دیتن مانه برای محاسبه عرض پایه‌ها :

$$t = K \cdot B\sqrt{Hg}$$

B : عرض دهانه دریچه

Hg : ارتفاع دریچه

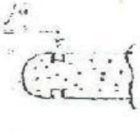
$K = 0.05 \sim 0.08$

- این ضخامت بیشتر از ضخامت سازه ای مورد نیاز است که دلایل آن عبارتند از :

۱) نیاز داریم وزن سرریز بیشتر شود و امکان خطر لغزش به خاطر اضافه بار کاهش یابد.

۲) شرایط خاص برای نصب تأسیسات و تجهیزات مربوط به دریچه احتیاج است.

مثلاً نیاز به ایجاد شکاف خواهد بود.



n : تعداد دریچه‌ها

طول سرریز $L = n . B$

عرض اولیه $W = n . B + (n-1)t$

دبی واحد عرض سرریز $q = \frac{Q}{L}$ weir

" " " شوت $q = \frac{Q}{W}$ chute

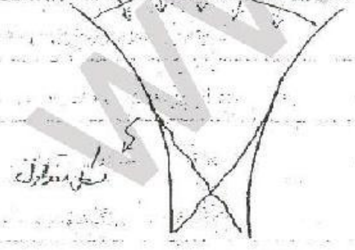
← یک بحث دیگر طراحی عرض شوت است (chute width)

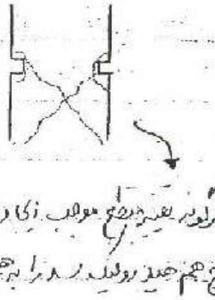
شکل پایین دست شوت ربطی به شکل سرریز ندارد ← عرض شوت می‌تواند با عرض سرریز متفاوت باشد.

معمولاً برای اینکه H کمی در روی سرریز داشته باشیم مجبوریم عرض سرریز را زیاد در نظر بگیریم

در نتیجه می‌توان عرض شوت را کمتر در نظر گرفت.

کاهش عرض معمولاً اقتصادی است.





هرگونه تغییر مقطع موجب ایجاد امواجی به سمت پایین دست می‌شود (در جریان فوق بحرانی)

این امواج هم جریان یکنواخت را به هم می‌زنند و هم ارتفاع آب را در دیواره‌ها بالا می‌برد

در نتیجه نیاز به اجرای دیوارهای بلند می‌باشد. بنابراین هرگونه تغییر مقطع می‌تواند ایجاد موج کند.

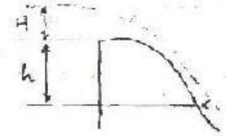
هرچه این تغییر مقطع آرام‌تر باشد اثر آن بر روی جریان کمتر خواهد بود.

www.ttnar.ir

⇐ اثرات تغییر مقطع باید در طراحی دیده شود و تست های فیزیکی انجام شود تا اثرات آن در ایجاد امواج دیده شود.

اگر از این تغییر مقطع استفاده کنیم دیگر نمی‌توانیم از روابط آئین نامه استفاده کنیم و باید تست های فیزیکی انجام شود. در نتیجه طراح ترجیح می‌دهد عرض شوت برابر با همان عرض تاج سرریز باشد.

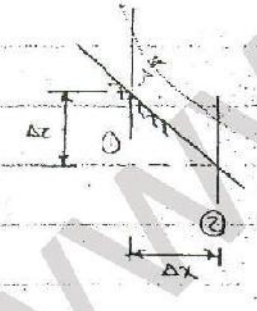
← یک دیگر از بحث ها وجود هوا در سرریز است.



$$V_t = \sqrt{2g(H+h)}$$

$$\underbrace{\frac{V_A}{V_t}}_{\text{ضریب جدول}} \times V_t = V_A \leftarrow \text{سرعت واقعی}$$

این روابط و جداول برای شوت های با شیب تند است. ولی در سرریز شوت معمولاً شیب ملایم است در نتیجه باید از روابط هیدرولیکی استفاده کنیم.



اگر از اتلاف اصطکاک صرف نظر کنیم:

$$E_2 = E_1 + \Delta z$$

$$E_2 = E_1 + S_0 \cdot \Delta x$$

با در نظر گرفتن اصطکاک کف:

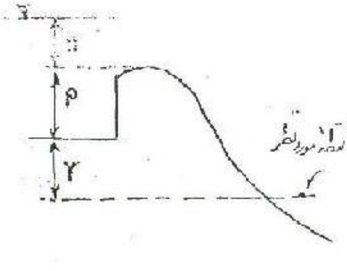
$$E_2 = E_1 + (S_0 - S_f) \cdot \Delta x$$

اگر بخواهیم روی سرریز انرژی را بدست آوریم:

$$E = \frac{V^2}{2g} + d$$

$$\boxed{E = \frac{q^2}{2gd^2} + d} \leftarrow \text{انرژی مخصوص در هر مقطع مشخص است}$$

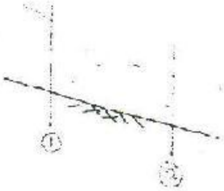
وقتی انرژی در مقطع ۱ مشخص باشد می‌توان انرژی در مقطع 2 را محاسبه نموده و عمق را در آن مقطع بدست آوریم.



$$E_1 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = ۳ + ۴ + ۲$$

$$\boxed{E_2 = E_1 + \Delta x\,(S_0 - S_f)}$$

S_f شیب انرژی است از طریق رابطه $S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$



$$E_1 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad , \quad E_2 = d_1 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$E_2 = d_2 + \frac{q^2}{2g d_2^2}$$

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - \bar{S_f}}$$

$\bar{S_f}$: شیب میانگین بین دو مقطع

دو مشکل وجود دارد:

۱) بین دو مقطع چون عمق را نداریم محاسبه S_f راحت نیست

۲) مقدار E از یک رابطه غیر خطی بدست می‌آید

مثال) پروفیل سطح آب را محاسبه کنید.

$Q = 1400\ m^3/s \quad , \quad W = 70\ m \quad , \quad S_0 = 0.10 \quad , \quad n = 0.012$

در مسئله گفته شده به عمق 3.0 m حالت را آغاز کنیم ولی اگر گفته بود باید عمق بحرانی را محاسبه می‌کردیم و با آن عمق حل را شروع می‌کردیم

چون جریان از عمق بحرانی به عمق نرمال می‌رسد ⇐ در گام‌های بعدی عمق را کاهش می‌دهیم
(با کاهش مرحله، عمق هم کاهش می‌یابد)

www.ttnar.ir

پیرامون مرطوب $P = 20 - W$

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

$V = \frac{Q}{A}$

D	A (m²)	P (m)	R	$R^{4/3}$	V	$V^2/2g$	$S_f \times 10^{-3}$	E	$\bar{S}_f \times 10^{-3}$	$S_0 - \bar{S}_f$	ΔE	Δx	x
3.0	210	76	2.76	3.88	6.67	2.27	1.66	5.27					0
									2.00	98.0	0.23	2.35	
2.7	189	75.4	2.61	3.40	7.41	2.8	2.33	5.5					2.35
									2.87	97.1	0.44	4.53	
2.4	168	74.8	2.25	2.94	8.33	3.59	3.41	5.94					6.88
									3.46	96.0	0.47	4.9	
2.2	154	74.4	2.07	2.64	9.09	4.21	4.5	6.41					11.70

با هندسه مقطع را در نظر گرفته و عمق را بدست می‌آوریم

طی درایی از روش گام به گام مستقیم استفاده کرده‌ایم که عمق را فرض کرده و مقطع را بدست می‌آوریم.

فرق این است که دیگر نیازی به حل معادلات عمق نرمال نیست.

بعد تا هر گاه که طول لازم است محاسبات را ادامه دهیم. یعنی در پایان دست عمق به عمق نرمال می‌رسد و تا آن جا دیگر محاسبات را تا این عمق ادامه می‌دهیم یا کمی کمتر از آن.

در عمق نرمال ($S_0 = S_f$) است

$$S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$$

در نتیجه S_f معلوم بوده و از روی شکل همه R, V که به عمق وابسته هستند می‌توان عمق نرمال را محاسبه نمود.

این روش برای شیب یکنواخت (S_0) کاربرد دارد.

اگر شیب در طول مسیر تغییر کند آن را به دو قسمت تقسیم کرده و دو بار مسئله را حل می‌کنیم ــ عمق اولیه مسئله بعد همان عمق آخر مسئله قبل است

اگر عرض کف متغیر باشد ، پارامترهای A ، P ، R و V علاوه بر عمق ، تابعی از عرض در هر مقطع نیز هستند .

⇐ نمی توان حسن استفاده را از این روش برد . چون دیگر معادلات ساده نخواهد بود .

پارامترها تابعی از مقداری هستند که هنوز بدست نیامده است . چون مقطع هنوز مشخص نیست که عرض را در آن بدست آوریم .

⇐ برای حل مسئله ابتدا مقداری برای عرض فرض کرده و x را بدست می آوریم .
با استفاده از این x بار دیگر عرض را محاسبه کرده و محاسبات را تکرار می کنیم .

⇐ ما نیاز داریم شیب را در ابتدای حوضچه آرامش بدست آوریم . اگر میزان افت در انتهای شیب داده شده باشد می توان عمق را محاسبه نمود .

$$E_2 = E_1 - \Delta E = d_2 + \frac{q^2}{2g d_2^2}$$

اگر میزان افت داده شده باشد ، باید از روش گام به گام مستقیم استفاده کنیم .

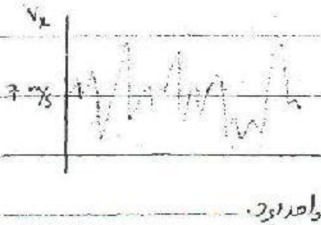
مقدار عمق در ابتدای حوضچه آرامش ~~[illegible]~~ محدوده قرار می گیرد .

۱) حد بالایی ⟵ هیچ افتی در طول شیب نداشته باشیم $E_1 = E_2$

۲) حد پایینی ⟵ در پایین شیب به عمق نرمال برسیم .

⟵ Air Entrainment

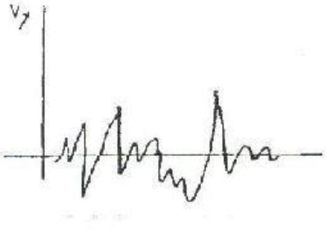
باید کمیتی از میزان هوای ورودی به جریان داشته باشیم تا بتوانیم طراحی دیواره را با دقت مناسبی انجام دهیم .

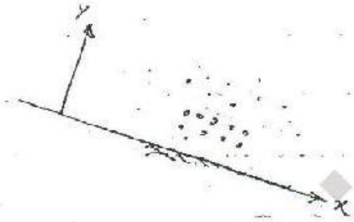


اگر سرعت ورودی شیب را اندازه گیری کنیم ، نوساناتی به صورت روبرو خواهد داشت .

هرچه نوسانات اطراف سرعت بالا باشد ، مشکل بیشتر خواهد بود .

سرعت در جهت y هم تغییراتی خواهد داشت که میانگین آنها صفر خواهد بود.

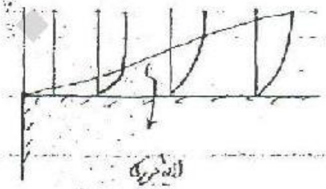




برای اغتشاش جریان ذرات به سمت بیرون پرتاب شده در برابر نیروی ثقل دوباره به جریان بازمی‌گردند که باعث می‌شود هوای زیادی با خود وارد آب کنند.

حال هوا همان شرایطی را ایجاد می‌کند که ذرات در هوا داشتند و تحت نیروی شناوری هوا می‌خواهد از آب خارج شود.

وقتی جریان وارد کانالی می‌شود که دارای اصطکاک است، ابتدا با سرعت ثابت وارد کانال می‌شود و با پیشروی در کانال تحت تأثیر اصطکاک کف قرار گرفته و شکل جریان تغییر می‌کند.



وقتی کل جریان تحت تأثیر اصطکاک کف قرار گیرد، به آن جریان کاملاً توسعه یافته گفته می‌شود.

(fully developed)

اگر جریان کاملاً توسعه یافته نباشد، ورود هوا (هوادهی) وجود نخواهد داشت.

→ در این نوع جریان، عمق جریان با عمق لایه مرزی یکسان خواهد شد.

در این حالت جریان آشفته شده و ذرات از سطح آب جدا می‌شوند و هوا را با خود به داخل آب می‌آورند.

غلظت هوا در سطح زیاد و در کف کم است چون حباب‌ها تحت نیروی شناوری به سطح می‌آیند.

$$C = \max\left[0.826 + 0.7\log\left(\frac{\sin\alpha}{q^{0.1}}\right),\ 0\right] \qquad \begin{cases} \alpha < 60^\circ \\ q > 0.25 \end{cases}$$

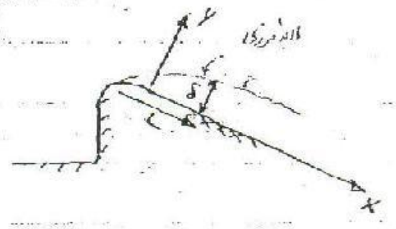
$$\frac{\delta}{L} = 0.0175 - 0.0025\log\left(\frac{L}{K_s}\right)$$

α : زاویه امتداد سرریز با سطح افق

q : دبی در عرض واحد

K_s = ارتفاع زبری در کانال

(مثلاً اگر کف دیواره زبری داشته باشیم، ارتفاع آنها همان K_s است)



$$C = \frac{d_a}{\underbrace{d_a}_{\text{ارتفاع هوا}} + \underbrace{d_w}_{\text{عمق [illegible] آب}}} \Rightarrow \boxed{d_a + d_w = \frac{d_w}{1-C}}$$

C : میزان غلظت هوا

$$H_{wall} = 1.5\,(d_a + d_w) + \underbrace{0.05\,V}_{\text{به دلیل احتمال وقوع امواج با سطح عرضی در نظر گرفته می‌شود.}}$$

(در سیستم متریک استفاده شود)

غلظت سیال باعث ایجاد اصطکاک می‌شود. غلظت هوا ۱۰۰ برابر کمتر از آب است.

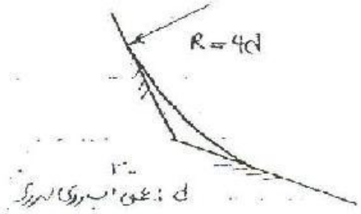
⇐ وجود هوا به دلیل غلظت کمتر، اصطکاک را کاهش می‌دهد.

ولی باید توجه داشت که وجود هوا باعث افزایش پیرامون خیس شده در نتیجه سطح تماس افزایش می‌یابد و اصطکاک بیشتر می‌شود.

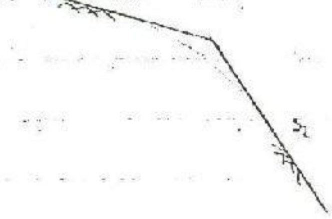
ولی آزمایشات نشان داده است که وجود هوا باعث کاهش اصطکاک و افزایش سرعت می‌شود.

وجود ۴۰٪ هوا ۵٪ سرعت را افزایش می‌دهد.
وجود ۷۰٪ هوا ۳۰٪ سرعت را افزایش می‌دهد.

→ Vertical Curve



وقتی از شیب تند به شیب ملایم می‌رسیم باید
در محل تغییر شیب، از قوسی استفاده کنیم
که حداقل شعاع آن ۴ برابر عمق خواهد بود



وقتی از شیب ملایم به شیب تند می‌رسیم
باید در محل تغییر شیب، از قوسی استفاده کنیم
که امکان حرکت پرتابی وجود داشته باشد.

$$x = V_x t$$

$$y = V_y t + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}\right) g t^2$$

این نکته که برای g باید ضریب $\frac{2}{3}$ استفاده کنیم.

در این صورت قوس ملایم‌تر خواهد شد و جریان بر روی آن می‌لغزد و ملایم‌تر حرکت می‌کند و
از ایجاد جریان منفی جلوگیری می‌شود. (پدیده کاویتاسیون)

منحنی مسیر قوس $y = x S_1 + g x^2 \left(\frac{1+S_1^2}{3V_1^2} \right)$

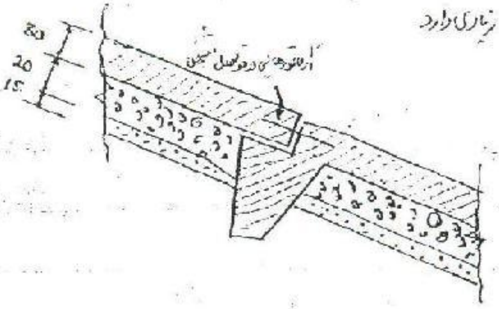
طول قوس $x_t = 3 \frac{S_2 - S_1}{1+S_1^2} \frac{V^2}{2g}$

→ Joints & Drains

در طول شوت سرریز چون سازه طولانی است
باید یک سری درزهای انبساط و انقباض قرار دهیم

www.ttnar.ir

در کف دال سرریز یک سری پوشش‌ها و درز رفتگی‌های بزرگی وجود دارد.



چون بتن نفوذپذیر است و درزهای زیادی دارد

که سبب ایجاد فشاری در زیر بتن خواهد شد.

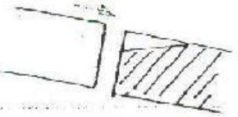
(اگر ۱۰٪ موجب ازدیاد فشار

کششی در زیر دال می‌شود)

دال باید ضخامت بالای 2m باشد

تا با این فشار هیدرواستاتیک مقابله کند.

ولی معمولاً ضخامت بتن 30 cm است. برای کاهش این فشار از یک سیستم زهکش استفاده می‌شود.



اگر دو طرف دال دارای سطح یکسان نباشند، آب با سرعت به دال روبه‌رو برخورد می‌کند و سبب ایجاد تلاطم و فشار منفی خواهد شد.

⇐ آن را به صورتی که 1-2 cm سطح دال روبه‌رویی پایین‌تر باشد تا جریان به راحتی عبور کند.

۳) حوضچه آرامش: Stilling Basin

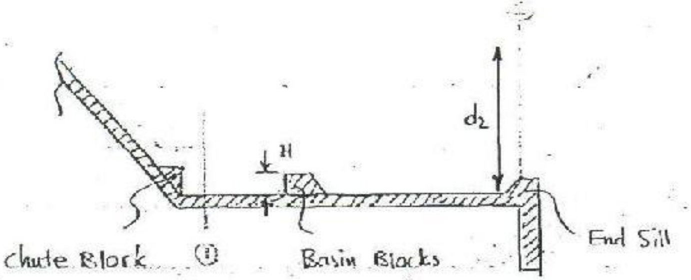
حوضچه آرامش وظیفه مهم سرریز را بر عهده دارد.

(وارد کردن آب به تراز رودخانه)

اگر انرژی دبی‌های زیاد مستهلک نشود، خرابی‌های زیادی به بار می‌آورد. وظیفه اصلی حوضچه آرامش، استهلاک انرژی آب می‌باشد.

مکانیزم استهلاک انرژی در حوضچه آرامش، ایجاد پرش هیدرولیکی است.

اولین پارامتر طراحی، عرض حوضچه است. معمولاً این عرض را برابر عرض سرریز یا عرض [illegible] می‌گیریم یا برابر با طول تاج سرریز.



(i) پیشنهاد رایس باید برای عرض حوضچه : Basin width $= 1.8\sqrt{Q}$

(ii) Hydraulic jumb

$$\frac{\gamma h_2^2}{2} - \frac{\gamma h_1^2}{2} + F_f = q\rho\,(\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

از اصطکاک صرف‌نظر می‌کنیم $\Rightarrow \dfrac{\gamma h_2^2}{2} - \dfrac{\gamma h_1^2}{2} = q\rho\,(V_1 - V_2)$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} g\,(d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = q^2 \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{q^2}{g} = \frac{1}{2} d_1 d_2 (d_1 + d_2) \quad *$$

در این رابطه d_2 مجهول است چون جریان را تا ابتدای حوضچه آرامش (انتهای سرریز) دنبال کرده‌ایم در نتیجه d_1 معلوم خواهد بود.

$d_1 = \dfrac{q}{\sqrt{2g(E-d_1)}}$ مقدار d_1 حداقل برابر با عمق نرمال خواهد شد.

$$* \Rightarrow d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{2V_1^2 d_1}{g} + \frac{d_1^2}{4}}$$

$$\boxed{d_2 = \left(\sqrt{8F_1^2+1} - 1\right)\frac{d_1}{2}}$$

که عمق ثانویه (d_2) فاصله تراز آب در پایین دست تا کف حوضچه آرامش می باشد. تراز آب در پایین دست را از روی منحنی های (ب) اشکل می توان بدست آورد.

(iii). Basin Length : $L = 3d_2$

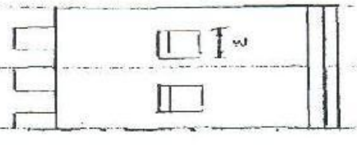
اگر بلوک های ضربه گیر نصب شده باشند از این رابطه استفاده می کنیم.
ولی در صورتی که بلوک ضربه گیر نداشته باشیم این مقدار ($5d_2$) خواهد بود.

(iv). Basin Wall Height : $h_w = 1.05\, d_2$

0.05 به منظور اطمینان از این است که پرش هیدرولیکی حتماً در مجرای حوضچه خودش شکل گیرد.

(v) Blocks and End Sill — بلوک های ضربه گیر

وظیفه این بلوک ها کمک به استهلاک انرژی است. یعنی شرایطی را فراهم می آورند که در طول کمتر، انرژی بیشتری مستهلک شود.



هر کدام بزرگتر باشد

	H	W	Spacing	Position
Chute Blocks	d_1 یا $d_1/9$	0.75 - 1.0 H	W	
Basin Blocks	d_1 یا $d_2/8$	〃	W staggered	
End Sill	$d_2/10$	تقریباً کل عرض حوضچه	—	END

سری chute Block و Basin Block لازم نیست [illegible]

(VI) Force on Blocks

$$F_b = C_d \cdot A_b \cdot \rho \cdot \frac{V_1^2}{2}$$

نیرویی که از جریان با سرعت V_1 به مانعی با مساحت A_b وارد می‌شود

با توجه به شکل مانع، متفاوت می‌باشد

$$\begin{cases} C_d = 1/3 & \text{Chute Blocks} \\ C_d = 2/3 & \text{Basin Blocks} \end{cases}$$

فرض می‌کنیم ضربه‌گیر در راس عمق d_1 قرار گرفته است، با توجه به اینکه ضربه‌گیرها بین دو ردیف قرار گرفته‌اند

$$A_b = 1.0 \times \frac{d_1}{2}$$

عرض واحد

(چون یک ردیف هستند ضریب $\frac{1}{2}$ می‌گذاریم)

$$\Rightarrow \boxed{F_b = d_1 \cdot \rho \cdot V_1^2/4}$$

$$\frac{\gamma d_1^2}{2} \quad \frac{\gamma d_1^2}{2} = \rho q (V_1 - V_2) - d_1 \rho V_1^2/4$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} g (d_1 - d_2)(d_1 + d_2) = q^2 \left(\frac{3}{4d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$$

← با حضور نیروی اصطکاکی ناشی از بلوک‌های ضربه‌گیر، مقدار d_2 کاهش خواهد یافت

پس وقتی d2 کم می‌شود یعنی می‌توان کف حوضچه آرامش را بالاتر ساخت.

← حجم خاکبرداری و حفاری کاهش خواهد یافت و هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

(VII) Basin Elevation تراز کف حوضچه

نکته: برای بدست آوردن d2 سه حالت وجود دارد:

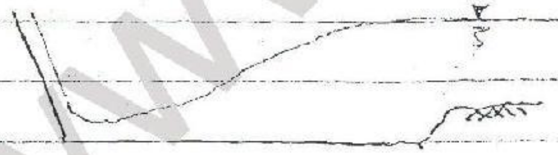
۱) پروفیل سطح آب را بدست می‌آوریم.

۲) با داشتن اختلاف تراز بین انتهای شوت و تراز آب در کانال و مشخص بودن افت در طول مسیر می‌توان انرژی را در ابتدای حوضچه آرامش حساب نمود و با استفاده از روابط d1 را بدست آورد.

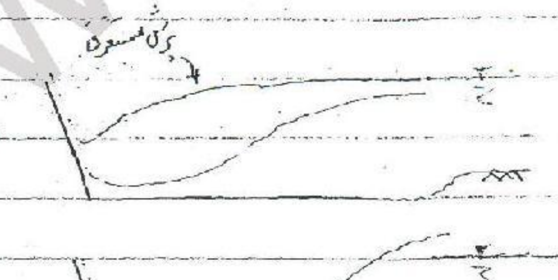
۳) با یک تقریب: اگر طول شوت زیاد باشد می‌توان فرض کرد که عمق به مقدار عمق نرمال می‌رسد.

۱. اصرار داریم که پرش هیدرولیکی حتماً در داخل حوضچه آرامش صورت گیرد برای اینکه وقتی آب وارد پایین دست می‌شود حتماً انرژی آن مستهلک شده باشد تا باعث تخریب پایین دست نشود.

(1)

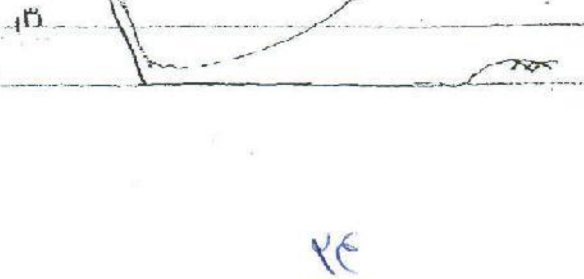


(2)



اگر کف حوضچه پایین‌تر از مقدار لازم باشد.

(3)



اگر کف حوضچه را بالاتر بسازیم.

www.ttmar.ir

اما تراز آب پس از پرش باید به تراز سطح آب در رودخانه خاص نشود. ما کاری به عمق آب در رودخانه نداریم و فقط تراز سطح آب برای ما مهم است.

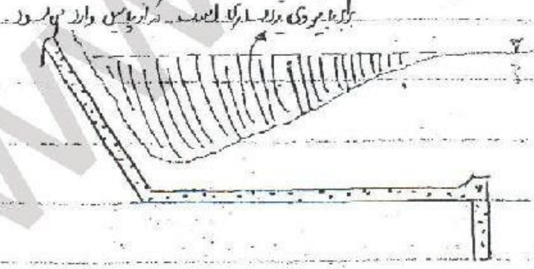
یعنی حالت (۱) نشان داده شده برای ما مطلوب است.

- اگر d_2 کمتر از مقدار طراحی باشد حالت (۲) رخ می‌دهد که نگران کننده نیست.
- در حالت (۳) چون پرش هیدرولیکی خارج از حوضچه آرامش رخ می‌دهد نگران کننده است.

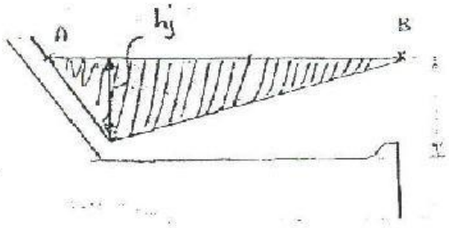
- حالت (۴) نگرانی ایجاد نمی‌کند ولی غیر اقتصادی است چون گودبرداری بیش از حد نیاز انجام شده است.

(viii) Uplift. نیروی زیرفشار

- در حوضچه آرامش، تراز آب در پایین دست داریم که زیرفشار در حوضچه آرامش ایجاد می‌کند. اگر جریانی از حوضچه آرامش عبور نکند و تراز سطح آب در پایین دست و بالادست یکسان باشد مشکلی نداریم چون نیرویی که به صورت زیرفشار وارد می‌شود از بالا هم بر دال بتنی وارد می‌گردد. ولی هنگامی که پرش هیدرولیکی داریم کمی از آب بالای دال بتنی برداشته می‌شود و نیروها از حالت تعادل خارج می‌شوند.



فرض می‌کنیم عمق $0.8d_2$ در پایین دست شکل گرفته باشد چون این بحرانی‌ترین حالت خواهد بود. اگر عمق d_2 شکل بگیرد پرش آنقدر عقب می‌آید که سطح نسبت به این حالت کاهش می‌یابد.



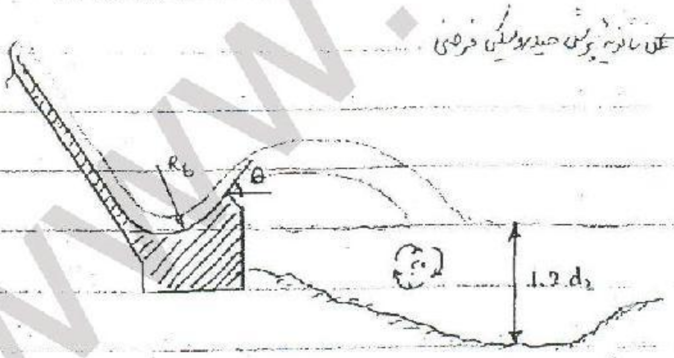
$h_j = 0.8d_2 - d_1$

$AB = \frac{h_j}{\text{Slope}} + 3d_2 \Rightarrow U = \rho \cdot g \cdot h_j \cdot AB/2$

→ Flip Backet (Sky jump)

← وظیفه خارج کردن آب و رساندن آن به تراز رودخانه مشابه سرریز سوت می باشد.
برای مستهلک کردن انرژی آب از پرتاب آب استفاده می شود.

d_2 : عمق ثانویه پرش هیدرولیکی فرضی



← مکانیزم استهلاک انرژی، پرتاب آب و مخلوط شدن آب با هوا می باشد

← از پارامترهای طراحی شعاع R_b می باشد که مشابه شعاع قوس قائم در سرریز سوت می باشد

توصیه آیین نامه : $R_b \gg 4d$

اگر شعاع طراحی بیش از اندازه باشد با ورود سیلاب گودی پر از آب می شود و ممکن است پرش هیدرولیکی

www.tinar.ir

درداخل گودی رخ دهد . درنتیجه انرژی درجای مستهلک می‌شود .

این امر برای ما مطلوب نیست چون ما نمی‌خواهیم در قسمت پرتاب بیشترین انرژی را داشته باشیم .

$$x = V_x \cdot t$$

$$y = V_y \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = x \, tg\theta - \frac{g x^2}{2V^2 \cos^2\theta}$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \Rightarrow x = \sin\theta \cos\theta \cdot V^2/g$$

$$\theta = 45^\circ \rightarrow x = V^2/2g$$

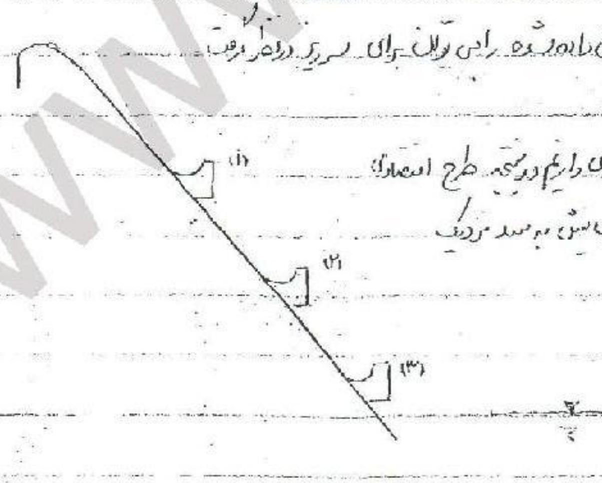
$$\theta = 30^\circ \rightarrow x = 0.868 \, V^2/2g$$

- اگر $\theta = 30^\circ$ باشد هم زاویه برخورد سطح آب با سطح استخر زاویه کمتری دارد و هم مقاومت هوا کمتر می‌شود

⇐ بیشتر پرتاب می‌شود .

بنابراین آیین نامه زاویه 30° را برای θ پیشنهاد می‌کند

← هر یک از این شکل‌های نشان داده شده را می‌توان برای سرریز در نظر گرفت



در حالت (1) طول سرریز کمتری داریم درنتیجه طرح اقتصادی خواهد بود ولی شکل ایجاد فرسایش به سد نزدیک می‌شود .

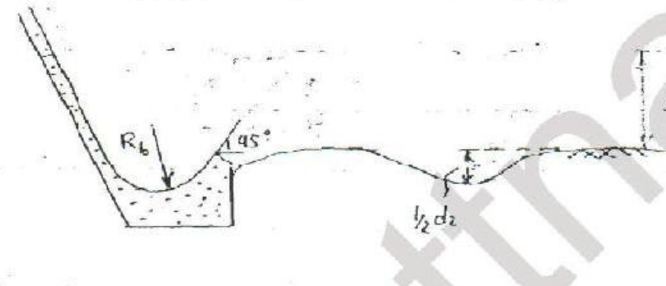
در حالت (2) و (3) طول سرریز بیشتر خواهد بود و هزینه‌ها بیشتر می‌شود ولی شکل ایجاد فرسایش در فاصله بیشتری از سد رخ خواهد داد .

فشار وارده انحنای سرریز : $P = d\left[V^2/R_b\right] + dg$

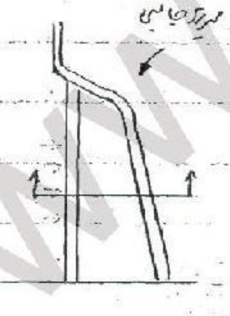
$$= gd\left[\frac{V^2}{gR_b} + 1\right]$$

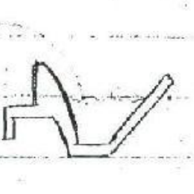
→ Submerged Roller Bucket

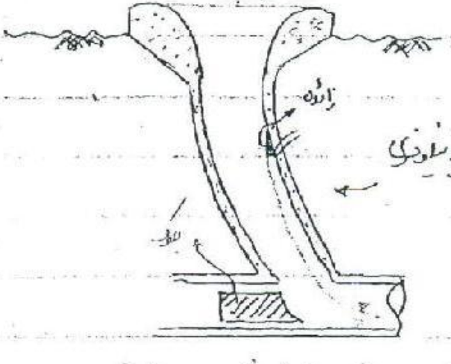
$R_b \geq 4d$


R_b
45°
$\frac{1}{2}d_2$

- Side Channel Spillway
- Shaft Spillway

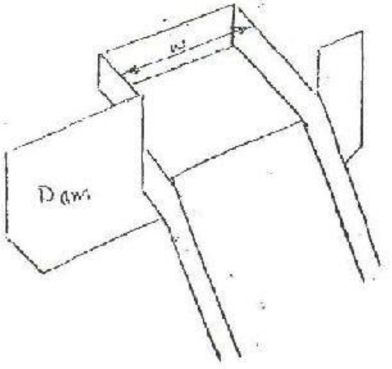

سرریز جانبی




زانویی
سرریز نیلوفری

که آب وارد شفت قائم شده و از طریق
تونل افقی انتقال داده می‌شود
قطر این تونل طوری طراحی می‌شود که طول موردنیاز سرریز را تأمین شود.

www.ttmar.ir



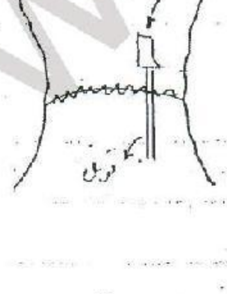
→ Rectangular Box Spillway

معمولاً برای عبور دبی‌های کم
در حدود 10-20 m³/s از این
نوع سرریزها استفاده می‌شود.
به همین دلیل به جای ساخت شکل قیفی
برای سرریز، فقط یک دیواره مستقیم ساخته می‌شود.

← سرریز جانبی

وقتی فضای کافی در ورودی سد برای قراردادن سرریز نداریم، از سرریز جانبی استفاده می‌کنیم که در کنار قرار داده می‌شود و آب وارد محفظه آن شده و از طریق تونل آب خارج می‌شود.
هدف در اینجا این است که سرریز با طول بیشتری دبی را خارج کند.

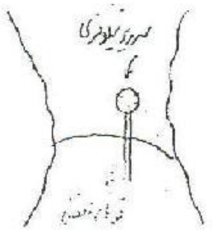
$Q = CLH^{3/2}$ اگر H کم باشد باید طول (L) را افزایش دهیم
(هد لازم برای عبور دبی)
این ارتفاع به دو دلیل محدود و هر چه کمتر باشد، بهتر است.

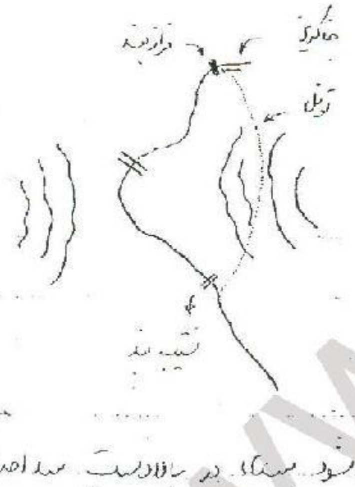


← سرریز نیلوفری

باید طراح مطمئن باشد که جریان آزاد یا
تحت فشار است. یعنی باید حتماً در طراحی
جریان، کنترل شده باشد.
در اینجا مبنای طرح عموماً این است که جریان
با سطح آزاد در تونل جریان دارد. چون معمولاً قطر این تونل خیلی زیاد است.

△ همانطور که در شکل سرریز نیلوفری نشان داده شده زائده‌ای در دیواره شفت قرار می‌دهیم که مطمئن باشیم در تونل اصلی جریان با سطح آزاد خواهد بود. همچنین مجاری در کنار زائده برای ارتباط با هوای بیرون قرار می‌دهیم تا سیستم جریان باز و بسته ایجاد نشود.



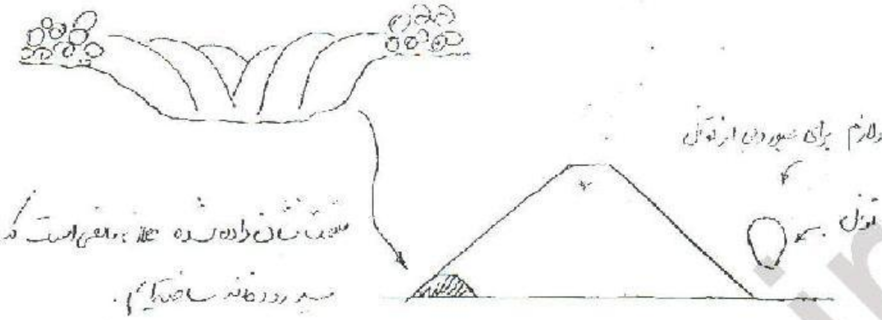


△ برای ساخت سد باید مسیر رودخانه را منحرف کنیم. برای این کار باید تونلی حفر کنیم. (در مناطق کوهستانی)
برای اینکه آب وارد تونل نشود حائلی در جلوی آن اجرا می‌کنیم.
وقتی کار ساخت تونل تمام شد حائل را برمی‌داریم تا آب وارد تونل بشود.

ولی چون باز هم آب می‌تواند وارد مسیر رودخانه شود. سدی در بالادست سد اصلی می‌سازیم که از ورود آب به مسیر رودخانه جلوگیری می‌کند و به آن فرازبند گفته می‌شود. چون تراز رودخانه پایین‌دست سد اصلی پایین‌تر از مسیر رودخانه است آب می‌تواند از پایین‌دست هم وارد مسیر رودخانه شود. در نتیجه سدی در پایین‌دست سد هم می‌سازیم که به آن نشیب‌بند گفته می‌شود.

△ فرازبند و نشیب‌بند معمولاً سدهای خاکی هستند.

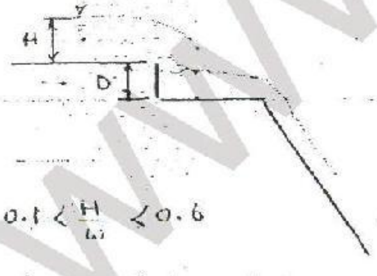
برای اینکه فرازبند را بزنیم باید جلوی آب را بگیریم. برای این کار از دو طرف رودخانه قلوه سنگ‌های سنگین ریخته و با لودر به داخل مسیر رودخانه می‌ریزند تا جلوی آب گرفته شود. قلوه‌سنگ‌ها باید بزرگ باشند تا آب رودخانه آنها را با خود نبرد.


قسمت نشان داده شده خاکریز موقتی است که در جلوی سد رودخانه ساخته‌ایم.
هد لازم برای عبور دبی از تونل
تونل

← ارتفاع سد فرازبند را با توجه به دبی طراحی تونل تعیین می‌کنند. چون برای عبور یک دبی مشخص از تونل نیاز است که یک هدی ایجاد شود. پس با توجه به هد لازم برای عبور دبی طراحی از تونل می‌توان ارتفاع فرازبند را تعیین نمود.

← این تونل معمولاً در تراز کف رودخانه قرار دارد. بنابراین استفاده‌ای پس از ساخت سد از آن نمی‌شود. می‌توان یک طرف تونل را که از مخزن می‌آید با بلوک بتنی مسدود کرد و سرریز نیلوفری را بر روی آن ساخت.

Rectangular Box Spillway ←



$$Q = C(2L + \omega)H^{3/2}$$

$$C = 1.96\left[1 - 0.056\sqrt{\frac{\omega}{L} - 0.5} - \left(0.06 - 0.1\frac{H}{\omega}\right)^2\right]$$

$$0.1 < \frac{H}{\omega} < 0.6$$

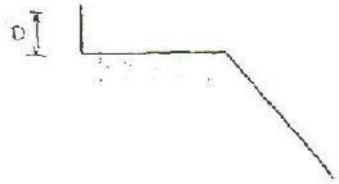
$L > \frac{\omega}{2}$ ← توصیه [illegible]

چون شکل آزاد سرریز را رعایت کرده‌ایم، یک افت ما در نظر می‌گیریم

$$H + D - \overbrace{0.25H} = 1.5d_c = 1.5\left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = 1.5\left(\frac{Q^2}{\omega^2 g}\right)^{1/3}$$

جایی که عمق بحرانی داریم، انرژی مخصوص $1.5d_c$ است

$$\Rightarrow D_{\text{حداقل}} = 0.701\left(\frac{Q}{\omega}\right)^{2/3} - 0.75H$$



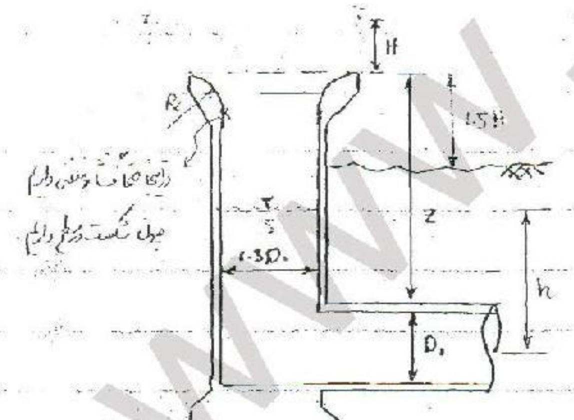
← سرریز حالت بزرگتر زمانی است که آب وارد مخزن شده است و مقدار بزرگتر برابر خواهد بود با 8D .

→ Drop Inlet Pipe Spillway

همان شبه سرریز نیلوفری است. ولی مقطع ورودی مربعی است. همچنین ورودی باید لوله افقی به صورت پر عمل کند. ⇐ مقطع می‌تواند کامل باشد.

در سرریز نیلوفری این کار انجام پذیر نیست چون ورودی تونل افقی از محل ساخته شده و مقطع بزرگی دارد ⇐ با جریان آزاد عمل خواهد کرد.

⇐ دبی عبوری از سرریز = حداقل دبی عبوری از لوله با پارامترهای فوق در طراحی هستند.



$$(I)\quad Q_{\min} = C \times 5.2\,D_0 \times H^{3/2}$$

$$C = 2.2\left(1 + 0.5\frac{R_c}{D_0} + 0.04\frac{H}{R_c}\right)$$

مقدار ضریب C در این سرریز از سرریزهای دیگر بیشتر است. چون در اینجا ما برای طراحی سرریز نقطه انتهایی را در نظر گرفته‌ایم در صورتی که مقدار آن در ورودی بیشتر است.

⇐ اگر از طول واقعی سرریز استفاده کنیم مقدار C [illegible]

⇐ در محل نشان داده شده در شکل، فشار منفی داریم که مقدار آن برابر است با:

$$\frac{P}{\gamma} = -0.8\frac{H_w^2}{R_c} > \underset{\text{فشار بخار}}{-2} \Rightarrow R_c > 0.4H_w^2$$

$R_c \geq 0.4 H_w^2$, $R_c > 2D_0$

مقدار R_c نیز از حدود داده شده بیشتر باشد تا فشار منفی از حد مجاز بیشتر نشود.

باید توجه داشته باشیم که این سرریز تا زمانی درست کار می‌کند که سطح آب تا حد مشخصی پایین باشد. اگر سطح آب زیاد بالا بیاید دیگر عمل جریان در روی سرریز تشکیل نمی‌شود و دبی عبوری کم خواهد بود. (به اصطلاح سرریز خفه می‌شود)

$$h = H + Z + S_0 L + D_0/2$$

$$\frac{D_0}{2} + H + Z + S_0 L - h_e - h_f = \frac{V^2}{2g}$$

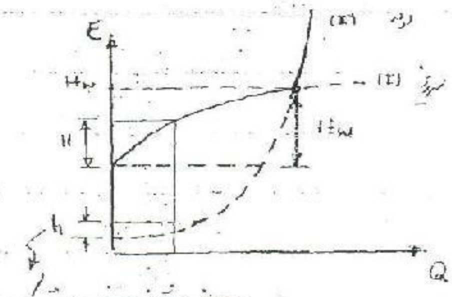
$$\begin{cases} h_e = 0.3\, V^2/2g \\ h_f = \dfrac{fL}{D_0}\,\dfrac{V^2}{2g} \end{cases}$$

$$\text{(II)} \qquad Q_{Pipe} = 0.785\, D_0^2 \sqrt{\frac{2gh}{1.3 + fL/D_0}}$$

h : اختلاف ارتفاع تراز وسط لوله در انتهای لوله تا تراز آب در استخر.

اگر دبی سرریز از دبی لوله کمتر باشد یعنی دبی سرریز حاکم است. در نتیجه می‌توان دبی سرریز را در رابطه (II) قرار داده و تراز سطح آب در استخر را حساب نمود.

اگر دبی لوله از دبی سرریز کمتر باشد یعنی دبی لوله حاکم است. در این صورت، حالت مستغرق برای سرریز به وجود می‌آید و h = اختلاف ارتفاع تراز وسط لوله در انتها تا تراز آب در مخزن خواهد بود.



همان اختلاف ارتفاعی است که باید ایجاد شود
تا دبی مورد نظر از سیستم عبور کند.

ما قبل از نقطه برخورد منحنی های مربوط به
دبی، سرریز حاکم خواهد بود و پس
از آن، دبی لوله.
← به این نقطه، تقاطع منحنی ها
flood out point
گفته می‌شود.

← به ازای ارتفاع مشخصی برای سطح آب (H) همانطور که در شکل نشان داده شده ... اگر خطی به موازات محور Q رسم کنیم منحنی سرریز را قطع می‌کند و از روی آن می‌توان دبی عبوری را بدست آورد. خط قائم رسم شده منحنی لوله را نیز در نقطه‌ای از ارتفاع قطع خواهد کرد که از لحاظ فیزیکی این h همان اختلاف ارتفاع تراز وسط لوله در انتها تا تراز سطح آب در ابتدا می‌باشد.

پس h باید ایجاد شود تا دبی مورد نظر از سیستم عبور کند.

← وقتی سطح آب در مخزن بالا می‌آید، در حول و حوش محل تلاقی دو منحنی یک ناپایداری داریم. سطح آب به Hw می‌رسد در نتیجه لوله حاکم می‌شود. سپس دبی کاهش می‌یابد و دوباره سرریز حاکم می‌شود و این نوسانات ادامه می‌یابد. این اتفاق نامطلوب است و ضرباتی به سیستم وارد می‌کند. این نوسانات باعث می‌شود حباب‌های بزرگ هوا وارد سیستم گردد که به این پدیده Slug Flow گفته می‌شود.

در سیستم‌های تحت فشار از عبور همزمان آب و هوا جلوگیری می‌کنیم. بنابراین برای جلوگیری از این پدیده یک حداقل شیب برای لوله در نظر می‌گیریم.

با استفاده از رابطه مانینگ : $S_0 \leqslant \frac{V^2 n^2}{4R^{4/3}}$

با استفاده از رابطه دارسی - ویسباخ : $S_0 \leqslant \frac{fV^2}{8gD_0}$

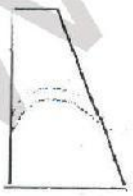
Chapter III _ Outlet Works

سیستم‌های تخلیه کننده

وقتی سیلابی وارد مخزن می‌شود، بهره بردار به گونه‌ای سعی می‌کند مخزن را تخلیه کند. یکی از این روش‌ها، استفاده از سیستم‌های تخلیه کننده است. این سیستم‌ها معمولاً به صورت تونل یا مجرا ساخته می‌شوند.

- Components :
  - (i) Inlet Structures ... سازه ورودی
  - (ii) Water Passage ... عبور دهنده آب
    - _ through . از داخل بدنه سد
    - _ Under . از زیر سد
    - _ Around . از اطراف سد
  - (iii) Outlet Structures - سازه خروجی
  - (iv) Means of Control - سیستم کنترل

- سدهای وزنی معمولاً امکان ایجاد تونل‌هایی را در بدنه سد فراهم می‌آورند. در این صورت هزینه‌های مربوط به ساخت سرریز هم کاهش می‌یابد.
انتهای این تونل‌ها برای مستهلک کردن [illegible] انرژی
به سرریز شوت ختم می‌شود.



- سیستم‌های تخلیه کننده به دو صورت تونل و مجرا هستند.

  - Tunnel _ Conducts

وقتی تشکیلات سنگی در منطقه داریم، از تونل استفاده می‌شود. یعنی باید شرایط زمین‌شناسی

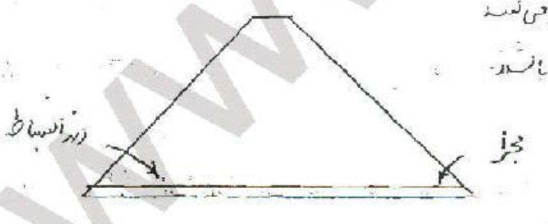
محل مناسب باشد. در این صورت کار خاصی برای ساخت تونل انجام نمی‌دهیم، چون پایداری به عهده تشکیلات زمین‌شناسی منطقه می‌باشد.

→ مجراها در زیر سد ساخته می‌شوند. در این صورت تحت بارهای بسیار زیادی خواهند بود و تحت برش و خمش قرار می‌گیرند (به علت نشست‌های ناهمگون)

← باید مجراها را انعطاف‌پذیر سازیم. برای این کار یک سری درزهای انبساط در طول مجرا قرار می‌دهیم.

این درزهای انبساط ممکن است آب را از خود عبور دهند. در این صورت پدیده Piping رخ خواهد داد. در این حالت وقتی آب از این درزها نفوذ می‌کند، دیواره‌های اطراف خود را می‌شوید و به تدریج خاک زیر آن پوک می‌شود و امکان خرابی سیستم وجود دارد. این یکی از معایب مجراها می‌باشد.

مجراها معمولاً در امتداد مسیر اصلی رودخانه ساخته می‌شوند و زیر بدنه سد عبور می‌کنند. ساخت مجراها کم‌هزینه است ولی معایب ذکر شده را دارند.



داخل تونل‌ها را یک لایه lining اجرا می‌کنند تا شرایط هیدرولیکی مناسب داشته باشد. lining کار سازه‌ای انجام نمی‌دهد.

تونل‌ها بار زیادی تحمل نمی‌کنند بنابراین نیازی به درز انبساط ندارند.

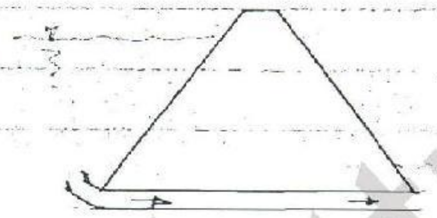
تونل‌ها گران‌تر و مناسب‌تر از مجراها هستند. تونل‌ها از تکیه‌گاه‌های چپ و راست سد ساخته می‌شوند.

www.ftnar.ir

برای طراحی سازه‌ای ، ابتدا هندسه‌ای را تخمین می‌زنیم و با این هندسه ، دبی عبوری از مجرا را محاسبه می‌کنیم.

با محاسبه اختلاف ارتفاع آب در بالادست و پایین‌دست ، افت انرژی در سیستم داشته باشیم :

با محاسبه سرعت می‌توان دبی را بدست آورد. (Q = VA) ← $h = \frac{V^2}{2g}$

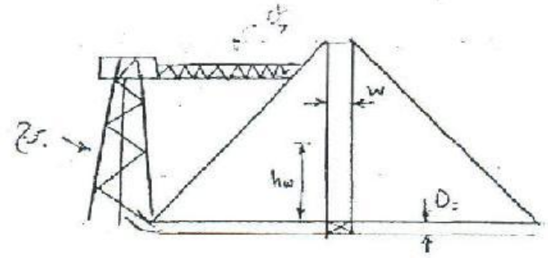


این سیستم‌ها ، ابزاری برای بهره‌برداری هستند که بتواند دبی را از آنها عبور دهد.

⇐ این سیستم‌ها باید کنترل شده باشند ، یعنی یک شیر یا دریچه داشته باشند

اگر این سیستم کنترل دریچه‌ای در مجرای ورودی مجرا باشد یعنی قسمت پشت شیر ، همیشه تحت فشار خواهد بود و مشکلاتی از قبیل Piping به وجود می‌آید.

یکی از بهترین محل‌ها برای دسترسی همان ورودی می‌باشد. چون از لحاظ هیدرولیکی هم بهترین شرایط را دارد.

(در پایین‌دست شرایط دسترسی آسانتر است ولی بدترین شرایط هیدرولیکی را دارد.)