مرجع تخصصی مهندسی عمران

www.Mcivil.ir

دانلود انواع پروژه های دانشجویی مهندسی عمران

فیلم های آموزشی نرم افزار

آگهی های استخدامی عمران به صورت روزانه

1/

« تاهای آبی »

پیش نیاز : هیدرولیک - مکانیک خاک

سرفصل درس :

۱- آشنایی با چگونگی طراحی و محاسبه کانال انعم از کانال پوشش دار و خاکی

- مسیر یابی
- تعیین مقطع عرضی
- بهترین مقطع هیدرولیکی
- مقطع پایدار هیدرولیکی
- طراحی کانال خاکی پایدار
- تعیین ارتفاع دیواره
- انواع پوشش و تعیین نوع پوشش کانال
- بهینه سازی طرح کانال از لحاظ حجم عملیات خاکی
- پایداری دیواره های طرفین کانال
- رهایش زیر پوشش ها
- کاهش زیر فشار
- درزهای اجرایی

۲- آشنایی با اصول طراحی ابنیه مربوط به کانال

- آبگیرها
- آبشارها (قائم، مایل، پله ای)
- شوتها (شیب ها)
- زیرگذرها
- فلومها (رودخانه ها)
- سیفون معکوس
- مستهلک کننده های انرژی
- تأسیسات تقسیم آب
- ریزش گیر
- تخلیه کننده رسوبات

۳- آشنایی با انواع کنترل کننده های جریان (دریچه ها و شیرآلات)

۴- آشنایی با انواع آبگیرها : آبگیری از سدها، دریاچه ها، کانال ها، رودخانه ها و تأسیسات مربوطه

۵- آشنایی با انواع سرریزها و چگونگی طراحی آنها

۶- ایستگاه های پمپاژ

- آشنایی با انواع پمپ ها
- ترکیب پمپ ها
- انتخاب پمپ ها
- اصول طراحی ایستگاه های پمپاژ

۷- آشنایی با ضربه قوچ و روشهای کنترل آن در ایستگاههای پمپاژ و خطوط انتقال آب

References:

1- Hydraulic Structures, Grishin M.M., Mir publishers, Moscow, 1982. (2 Vol.)

2- Hydraulic Structures, Novak P., Macmillan publishers, London, 1990.

3- US Army Corps of Engineers (USACE), EM1110-2-1603, Hydraulic design of spillways, 1992.
Design of small dams, 1977.

4- USBR, (Bureau of Reclamation)

5- USBR, Design of small canal structures, 1983

منابع:

۱- سازه‌های انتقال آب، تألیف: دکتر محمدکریم پیرامی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم، ۱۳۸۲.

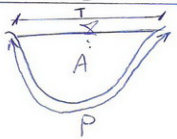
۲- سازه‌های آبی، تألیف: دکتر حبیب‌الله بیات، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ دوم، ۱۳۸۲. + حل مسائل

۳- سیستم‌های انتقال آب، تألیف: دکتر ابوالفضل بیاتی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر

۴- کتب هیدرولیک کانال‌های باز (ارشدی، مجازی و...)

۵- استانداردهای دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی

مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقاطع کانال ها :



$R = A/P$ ، $D = A/T$

$Re = \frac{VR}{\nu}$ ، $Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$

انواع رژیم جریان :

- $Fr < 1$ جریان زیر بحرانی
- $Fr = 1$ جریان بحرانی
- $Fr > 1$ جریان فوق بحرانی

- $Re < 500$ جریان آرام (لایه ای)
- $500 \leq Re \leq 2000$ جریان انتقالی
- $Re > 2000$ جریان آشفته

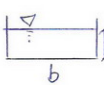
جریان یکنواخت (y و V و $Q = cte$) :

$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$ ← عمق نرمال y_n

جریان بحرانی :

$Q^2 T_c = g A_c^3$ ← عمق بحرانی y_c

مقطع مستطیلی :

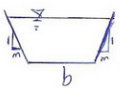


$A = by$ ، $P = b + 2y$ ، $T = b$

شعاع هیدرولیکی : $R = \frac{by}{b+2y} \approx y$ ($b \gg y$ یا $b > 50y$)

دبی در واحد عرض : $q = \frac{Q}{b}$ ← $y_c = \sqrt[3]{q^2/g}$

مقطع دوزنقه ای :



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

مقطع مثلثی :

$A = my^2$ ، $P = 2y\sqrt{1+m^2}$ ، $T = 2my$

مقطع دایره ای :

$A = \frac{d^2}{8}(\theta - \sin\theta)$ (θ in rad) ، $P = 0.5d\theta$ ، $T = d\sin\frac{\theta}{2} = 2\sqrt{y(d-y)}$

طراحی و محاسبه کانال‌ها

طراحی مجرای انتقال آب با سطح آزاد ← طرح هیدرولیکی: تعیین مسیر + شکل مقطع
طرح سازه‌ای
نهر (کانال) یا آبریز (تونل) با جریان سطح آزاد

معادلات پایه:

پیوستگی $Q = vA$
مانینگ $v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$
$\Rightarrow Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S_f^{1/2}$
$R = A/p$ شعاع هیدرولیکی
S_f: شیب خط انرژی
$S_f = S_w = S_b$: جریان یکنواخت
n زبری (ضریب مانینگ)
$n = 0.014$ (در مجاری)
$n \cong 0.01 \sim 0.024$ (در رودخانه)

تلفات آب: تبخیر + نشت
نشت: $\times 0.02$

(دارسی) $Q = K i A$

جدول PS ← شیب S ← مشخصات هندسی مقطع (برای سنجش کانال صحرایی)

تلفات آب کانال (Mority) $S = BC\sqrt{Q/v}$
(بتنی $B=0.2$, $C = 0.34 \sim 2.2$)

شیب حدی (پایداری):

سنگی: در مجرا حالی یا بیراست. تنها در مصالح سنگی با مقاومت برشی بالا باشد یا لالت و کنگلومرا (کابل اجرا)

خاکی: جوی آبی (با سطحی ناپایدار) بخصوص در لهساری

مشکل کاربردی: ظرفیت انتقال پایین

کانال با پوشش سنگی: $S = 1.5:1$

شیب کانالهای بدون پوشش: $S = 1.5:1$

جدول PF ← شیب حدی S ← براساس جنس کانال

شیب طولی:

کم شدید تابع توپوگرافی و اقتصاد پروژه

حدس اولیه $S = 0.0003293\, Q^{0.145}$

$S = 1:25000 \sim 1:10000$

تعیین شیب بحرانی که جریان زیر بحرانی ($Fr = 0.4$ ماکسیمم) باشد. (جلوگیری از رسوبگذاری)

ارتفاع آزاد : (Free Board)

بالاتر از تراز بیشینه آب در کانال

معمولاً یا به دلایل زیر دارای نوسان است :

شرایط سیلابی ، رسوبگذاری و کاهش عمق ، افزایش زبری بستر یا بازبان ، امواج ناشی از باد ، پس زدگی ناشی از عملکرد سازه های هیدرولیکی ، پرش هیدرولیکی ، افزایش عمق در گذر از تغییرهای حادرو بالا

تعیین ارتفاع آزاد :

- رابطه TVA :

$$F_B = 0.3 + \alpha y \quad (\alpha = 1/4)$$

- رابطه Leicy :

$$F_B = 0.2 + \beta Q^{1/3} \quad (\beta = 0.15)$$

- گرافهای استاندارد USBR ? :

$$F_B = 0.61 + 0.04 V\sqrt[3]{y}$$

- مراجع هندی

$$F_B = 0.55\sqrt{Cy} \quad \begin{cases} C \simeq 0.26 & Q = 06\ cms \\ C = 0.76 & Q = 85 \end{cases} \Rightarrow F_B = 0.3 \sim 1.2\ m$$

مقادیر میانی درونیابی گردد.

- USBR ← F_B و ارتفاع پرشی y_2 شکل P10 پیوست C ← محور $f(Q, y, F_B, \beta_i)$ نقاط انتخابی با

- عبور جریان از اخنا ← افزایش عمق در کناره خارجی اخنا به میزان $\Delta h = \frac{V^2 b}{gR}$

اعمال قانون دوم نیوتن :

$$\Delta h = 2.3 \frac{V^2}{g} \log \frac{R_0}{R_1}$$

معادله پروفیل سطح آب در عرض کانال

اعمال تغییرات سرعتی در عرض کانال :

$$\Delta h = \frac{V_{max}^2}{g}\left(\frac{20}{3}\frac{R}{b} - 16\frac{R^3}{b^3} + \left(4\frac{R^2}{b^2} - 1\right)^2 \ln\left(\frac{2R+b}{2R-b}\right)\right)$$

* نیاز به جاده دسترسی برای بهره برداری و نگهداری از کانال ← حداقل 5m برای عرض بالایی شانه کانال

+ در نظر گرفتن شیب بندی شانه کانال برای هدایت (۱) سطحی به خارج کانال

تعیین شکل مقطع :

مجرا با حداکثر ظرفیت ممکن با شیب S با R_{max} داشته باشیم ← مقطع دایره‌ای یا نیم دایره

استفاده از کانال بتنی با بتن مسلح برای تأمین پایداری.

Q_{max}

دلیل ← سهولت اجرا و بهره برداری ← مقطع دوزنقه‌ای متداول‌ترین شکل مقطع

بهینه سازی شکل مقطع :

- تعیین شیب شیروانی‌ها طراحی با توجه به پایداری مصالح
- تعیین عمق و عرض مجرا

تعیین عمق و عرض مجرا ۴ دوزنقه‌ای

الف) جداول تجربی

ب) روابط ریاضی

ج) گراف‌های استاندارد ← USBR شکل P13

(متداول‌تر)

$y_{(m)}$	1.7	1.35	2.3	2.6	3
$Q_{(cms)}$	15	30	85	150	300

$$y = \begin{cases} \sqrt{\frac{A}{b/y + z}}, & Q > 15\ cms \\ \sqrt{b/2} > Q^{0.15} \end{cases} \quad f(Q, b, y)$$

سرعت جریان در کانال‌ها :

V_{min} : جلوگیری از ته‌نشینی

V_{max} : جلوگیری از فرسایش کانال‌ها

$Fr \geq 0.12$: USBR ؛ $V_{min} = 0.8\ m/s$

$Fr \leq 0.5$ ؛ $V_{max} = 1.05\ m/s$

پارامترهای انتخاب مناسب سرعت‌ها ← رسوب‌گذاری ، فرسایش

انتخاب سرعت بهینه با توجه به مقاومت رسوبی و نوع مصالح انتخابی برای بستر کانال

سرعت بهینه (سرعت مجاز) : سرعتی که به موجب رسوب‌گذاری نشود و نه فرسایش.

انتخاب اول : استفاده از مصالح طبیعی

" دوم : احداث پوشش با درزگیری

" سوم : احداث پوشش گران قیمت و قابل اعتماد در کلیه شرایط پایداری

تعیین سرعت بهینه : (جریان‌های زیربحرانی)

- روابط ریاضی: $V = Cy^{x}$ ؛ $x = 0.64$ گلاور ، 0.5 لیندل
- تجربی
- بر اساس بهترین مقطع هیدرولیکی
- بر اساس شکل مقطع پایدار هیدرولیکی

ضریب C تحت تأثیر زبری‌ها ← $C = 0.56 \sim 0.64$ (انتخاب چیره)

سرعت بهینه ← مقاومت جریان به جهت وجود مواد معلق در آب

$[P_H \cdot d_{50}]$ برای

طراحی کانال‌های خاکی:

پایداری کانال‌های خاکی ← وابسته به پارامترهای هیدرولیکی + خصوصیات مصالح شکل دهنده کف و دیواره‌ها

مقطع پایدار هیدرولیکی ≡ عدم وقوع رسوب گذاری و فرسایش غیر مجاز

وقوع ناپایداری در کانال:

۱) فرسایش در کف و دیواره بدون رسوب گذاری (انرژی زیاد آب برای فرسایش + مواد مقاوم آب ناچیز)

۲) رسوب گذاری بدون فرسایش در کف و دیواره‌ها (سرعت آب کم ← تهنشینی بار رسوبی و مواد معلق)

۳) رسوب گذاری همراه با فرسایش (حفر کانال در خاک قابل فرسایش + بار رسوبی بالای آب)

پایدار نمودن این مقاطع از طریق کاهش سرعت آب تا حد سرعت مجاز

طراحی مقطعی کانال‌های خاکی:

۱) تعیین ضریب زبری (C) یا مانینگ (n) براساس جداول و نمودارهای هیدرولیکی. [جدول P16]

۲) محاسبه فاکتور شکل $AR^{2/3} = \frac{nQ}{\sqrt{S}}$

۳) محاسبه مقدار $\frac{b}{y}$ (عمق نرمال) از رابطه زبری مانینگ با احتساب فرضیاتی برای شکل هندسی مقطع

۴) بهترین مقطع هیدرولیکی ← پارامترها مطابق جدول (P21) (A, P, R, T, D) (دو تا مستقل/یک مستقل/وابسته)

درغیراینصورت ← تعیین ابعاد کانال با استفاده از $\frac{b}{y}$ نام سیستم و جدول P

۵) کنترل حداقل سرعت مجاز برای ممانعت از رسوب گذاری و فرسایش و روشهای کاهش + کنترل F_r

۶) تعیین ارتفاع اضافی پوشش و ارتفاع آزاد (مطابق روشهای بیان شده و ضمائم Ro)

۷) خلاصه نمودن نتایج و رایی کردن ابعاد کانال.

طراحی کانال‌های خاکی براساس روش بهترین مقطع هیدرولیکی:

$Q = \frac{1}{n} \frac{A}{P^{2/3}} \sqrt{S}$

Q, n, S مشخص ← A_{min}, P_{min} ← هزینه خاکبرداری کمینه

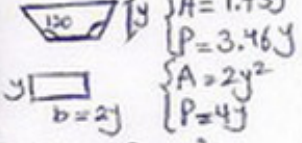
از این نظر بهترین مقطع نیم دایره است.

عمق مسیر از نیمه ← $\frac{b}{y}$ کمتر اقتصادی تر است.

احداث میرد و طرف خاکریز ← $\frac{b}{y}$ بیشتر "

مناطق خشک ← $\frac{b}{y}$ کمتر ← کاهش تلفات تبخیر

کانال با پوشش بتنی معمولاً ← $b = 1.2 \text{ تا } 1.5 \text{ m}$ و $y = 6 \text{ m}$



$A = 1.73y^2$, $P = 3.46y$

$A = 2y^2$, $P = 4y$

$A = y^2$, $P = 2.83y$

در پروژه‌های اجرایی: در نظر گرفتن تمامی خاکبرداری‌های مورد نیاز جهت حفر کانال با مقطع مورد نظر
مقایسه هزینه پوشش و هزینه خاکبرداری

طراحی کانال‌های خاکی براساس روش مقطع پایدار هیدرولیکی:

جلوگیری از وقوع فرسایش در مقطع از طریق توزیع یکنواخت نیروی کشنده در محیط مقطع
(محاسبات در P23-25)

پوشش کانال‌ها:

راه حل مناسب برای رسیدن به پارامترهای هیدرولیکی مناسب ← معمولاً پوشش‌دار

اهداف کانال‌های پوشش‌دار:

- انتقال آب با سرعت زیاد از مناطق با خاکبرداری ضعیف $V^2 \Rightarrow A\downarrow$
- کمینه نمودن تلفات آب، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، رسوب‌گذاری، فرسایش و... (V↑)
- تضمین پایداری مقطع کانال
- حفظ کیفیت آب

معایب:

- هزینه اجرای بالا
- مشکلات طراحی سازه‌ای از نظر کاهش زیرفشار
- ضرورت احداث سازه‌های فرعی اضافی برای تسهیل در بهره‌برداری

∴ معمولاً استفاده از پوشش توصیه می‌شود.

انواع پوشش‌های متداول :

۱- پوشش سخت و بتنی :
بتن ریخته شده درجا ، بتن پیش ساخته ، شاتکریت (بتن ریخته شده با فشار) ، آسفالت ، آجرفرش و بلوک سفالی ، سنگفرش .

۲- پوشش‌های غشایی :
قیر و کوتین با الیاف مصنوعی ، لاستیک و پلاستیک و فوم‌ای ، دوغاب سیمانی و خاک اصلاح شده ، زمین‌باز جهت آب بندی (استفاده از Geotextile برای زهکشی و Geomembrane برای آب بندی)

۳- پوشش مخلوط
خاک متراکم با کوبیده ، خاک اصلاح شده با آهک یا قیر ، سنگریز

عوامل موثر در انتخاب نوع پوشش :

- توجیه پذیری اقتصادی
- وضعیت اقلیمی منطقه
- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محرا
- طرفیت مقطع
- دائمی یا موقت بودن بهره برداری از محرا
- مهارت افراد محلی در حفظ ، بهره برداری و ترمیم محرا
- دوام
- تراوایی
- بازده هیدرولیکی

پوشش‌های بتنی:

در میان پوشش‌های گفته شده، پوشش بتنی متداول‌تر است.

در خاک با شکل زهکشی (خاک زه دار) ← استفاده از بتن با مقاومت بیشتر و به صورت مسلح

نکات قابل توجه: هوادهی، آب‌بندبودن، اقتصاد طرح

مرمت حوضی:

- حذف فولاد ← بتن با عیار سیمان کم
- ضخامت پوشش کم

+ حجم مصالح معدنی کم بودن

حلوگیری از قرار گرفتن در معرض کشش ازطریق زیرسازی مناسب

مصالح معدنی ارزان‌تر

توصیه USBR: پوشش با حداقل فولاد و ضخامت $t = \max\left\{\frac{D}{12}, 25\,cm\right\}$ برای تونل

ضخامت پوشش بتنی برای دونوع بتن $100, 150\ kg/cm^2$ برحسب دی ← جدول P37

شکل گیری:

بتن با شکی به صورت ملاتی با عیار قابل توجه سیمان

عیب: هزینه مصالح قابل توجه به علت فقدان قالب بندی ← حدود 1/5 گران‌تر از بتن پرتاب

آجرفرش و بلوک‌های سفالی:

مزایا: ساده بودن عملیات اجرایی و سهولت تأمین و ارزانی مصالح، عدم نیاز به درز.

مشکلات اجرای کانال‌های پوشش‌دار:

مشکل عمده مربوط به زیرسازی است.

خاکریزی مشکل آفرین ← خاکریز واگرا و خاک متورم شونده

متورم شدن در تماس با آب

مسه شدن در تماس با آب

کنترل: کاهش تماس آب با خاک + { مشکل در محدوده گسترده ← اصلاح خاک با مواد شیمیایی مثل ترکیبات گلسیم دار
مشکل در بخش‌های محدود ← کوبیدن و جایگزینی با مصالح مناسب و زیرسازی

درزها:

درزهای کنترل:

درزگذاری در پوشش‌های بتنی برای مقابله با پدیده‌های شکست‌های حرارتی و تغییر شکل‌ها

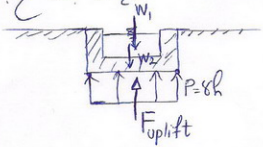
تعیین ابعاد درز کنترل و فواصل آن ← جدول P35 (تابعی از ضخامت پوشش)

درزهای اجرایی:

درزهای انقباض و انساط

زیرفشار (نیروی برکنش):

زیرفشار ناشی از وجود آب زیرزمینی یا حرکت آب در محیط متخلخل پی و اطراف مصالح بستر



تخریب پوشش ← $F_{uplift} > W_{پوشش+آب}$

↓ مقابله

زهکشی زیر پوشش

اختلاف عمق طرفین کانال در قوس:

راه‌های مقابله:

- افزایش ارتفاع پوشش دیواره خارجی قوس
- استفاده از شعاع انحنای بزرگ

$R \geq 3T$

روابط تجربی

جداول تجربی

$R = f(Q)$ ← جدول P44

11/

مثال: هندسه بهینه نوع مقطع را برای داده‌های زیر طراحی کنید.

$Q = 12\ cms$, $S = 0.0016$, $n = 0.025$, $z = 1$, $V_{max} = 1.5\ m/s$

$Q = VA \rightarrow 12 = 1.5\,A \rightarrow A = 8\ m^2 \rightarrow (b+y)y = 8$ (I)

$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \rightarrow 1.5 = \frac{1}{0.025} \times \left(\frac{8}{b+2y\sqrt{2}}\right)^{2/3} \times 0.0016^{1/2}$ (II)

(I), (II) $\rightarrow$ $b = 5.97\ m$, $y = 1.12\ m$

$F_B = 0.61 + 0.04\,V\sqrt[3]{y} = 0.73\ m$ $\rightarrow$ ارتفاع دیواره‌ها $= 0.73 + 1.12 = 1.85\ m$

مثال: برای P63

سازه‌های انتقال، تنظیم کننده، حفاظت، اندازه‌گیری جریان، مستهلک کننده انرژی، لوله‌ها، تبدیل‌ها و حفاظت در مقابل فرسایش

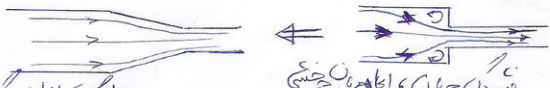
آشنایی با اصول طراحی اجزء مربوط به کانال‌ها:

تبدیل‌ها:

تبدیل واگرا یا پهن‌شونده

کاهش یا افزایش ← تغییر شکل مقطع، سطح مقطع یا هر دو

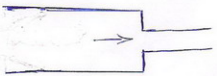
نقش تبدیل: کاهش تلفات انرژی و یا هدایت صحیح جریان به سمت‌های بین دست



جلوگیری از کاهش گرادیان انرژی

شوریدگی جریان، ایجاد جریان چرخشی (گردابه)، پراکنش انرژی

تقسیم‌بندی تبدیل‌ها از نظر شکل هندسی:



۱- تبدیل‌های ناگهانی (راست‌گوشه)

بالاترین اتلاف انرژی + سهولت اجرا + اجرا در فضای محدود و دیواره‌های قائم

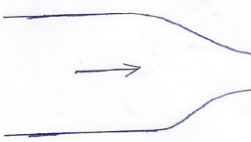
۲- تبدیل‌های گردگوشه

اتلاف انرژی کمتر + سهولت اجرا + اجرا در فضای محدود ناحیه‌ای

۳- تبدیل‌های خطی مستقیم

تلفات انرژی کم + سهولت اجرا + نیاز به فضای اجرایی بیشتر

۴- تبدیل‌های خط جریانی یا سهموی



کمترین اتلاف انرژی + نیاز به فضای اجرایی دشوار با هزینه بالا

ازلحاظ کاربری: (مخصوص جهت مقابله با رسوبگذاری)

کاربری‌های انتقال آب شرب ← نوع ۱ و ۲

" صنعتی ← نوع ۳

" نیروگاه‌های برقابی ← نوع ۴

طراحی تبدیل‌ها:

$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$, $D = \frac{A}{T}$

$F_r > 1$ جریان فوق بحرانی
$F_r = 1$ " بحرانی
$F_r < 1$ " زیربحرانی

- جریان زیربحرانی

- زاویه انحراف بین دیوارهای جانبی و محور عمومی مجرا

زاویه 12.5° ← کمترین تلفات انرژی برای کوتاه‌ترین تبدیل ممکن

درصورت تغییر طول تبدیل باتوجه به مسائل اجرایی ← زاویه بهینه $\begin{cases} 22.5^\circ & \text{تبدیل واگرا} \\ 30^\circ & \text{تبدیل همگرا} \end{cases}$ (تبدیل نوع ۳ و ۴)

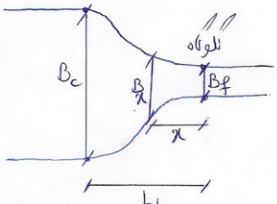
- تعیین شکل (پروفیل) تبدیل سهموی

الف) روش هندسی سهموی ساده

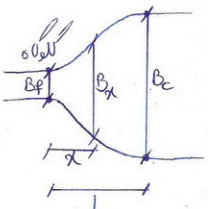
۱- تعیین طول تبدیل براساس زاویه بهینه 12.5° (L_t)

۲- تعیین هندسه سهموی

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



تبدیل همگرا



تبدیل واگرا

ب) روش هندسی سهموی اصلاح شده

۱- تعیین L_t براساس زاویه بهینه 12.5°

۲- تعیین هندسه سهموی

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

۱۶ مثال: کانال ذوزنقه‌ای با شیب جداره 2H:1V و عرض کف $5.5\,m$ و سرعت جریان $3.533\,m/s$ به یک تونل نیم دایره‌ای شکل با سرعت جریان $0.8\,m/s$ متصل می‌شود. برای عبور جریان $10\,cms$ طراحی کنید.

① → ②

$$A_1 = \frac{Q}{V_1} = \frac{10}{0.8} = 12.5\ m^2 \longrightarrow (5.5+2y_1)y_1 = 12.5 \longrightarrow y_1 = 1.48\,m$$

$$A_2 = \frac{Q}{V_2} = \frac{10}{3.533} = 2.83\ m^2 \longrightarrow D = 2.685\,m$$

$$T = 5.5 + 2\times2\times1.48 = 11.42\,m$$

$$L_t = \frac{11.42 - 2.685}{2\,tg\,12.5} = 19.7\,m$$

$(A_2 \simeq A_1 \sim 60)$ تبدیل مقطع

$$B_x = \frac{B_c B_f L_t}{L_t B_c - x(B_c - B_f)} = \frac{11.42\times2.685\times19.7}{19.7\times11.42 - x(11.42-2.685)} = \frac{604.06}{225 - 8.74x}$$

x	1	3	5	7	9	19.7
B_x	2.79	3.04	3.33	3.69	4.13	11.42

ج) روش هیندز یا سهمی دوگانه ← روندسنجی وحفاظ

۱- تعیین طول تبدیل براساس زاویه پهنه $12,5^\circ$

۲- برآورد تغییرات سطح آب

تبدیل هیدرا ← افزایش سرعت ← کاهش عمق
تبدیل واکر ← کاهش سرعت ← افزایش عمق

$\Delta y = (1 \pm c)\,\Delta h_v$ هدسرعت $h_v = \frac{v^2}{2g}$

c: ضریب تلفات موضعی و هیدرا (+) واکرا (−)

نوع تبدیل	ضریب تلفات ورودی (c_i)	ضریب تلفات خروجی (c_o)
تبدیل سهمی	0.1	0.2
گردگوشه یا پنج استوانه	0.15	0.25
خطی مستقیم	0.3	0.5
راست گوشه	>0.3	0.75

۳- تقسیم تبدیل به قسمت های مساوی (Δx) و محاسبه زدن (Δy) برای هرقسمت
با فواصل تغییرات سطح آب

۴- محاسبه تغییرات هدسرعت برای هرقسمت

$(\Delta h_v)_j = \frac{\Delta y_j}{1.1}$ یا $\frac{\Delta y_j}{1 \pm c}$

۵- محاسبه سرعت جریان درهرقسمت V_j

۶- محاسبه سطح مقطع جریان $A_j = \frac{Q}{V_j}$

۷- تعیین هندسه ← T_j عرض سطح آزاد / b_j عرض کف

۸- تعیین عمق متوسط جریان $y_j = \frac{A_j}{0.5(b_j + T_j)}$

۹- تعیین شعاع هیدرولیکی $R_j = \frac{A_j}{P_j}$

۱۰- تعیین شیب خط انرژی از رابطه مانینگ $S_{fj} = \left(\frac{nV_j}{R_j^{2/3}}\right)^2$

۱۱- محاسبه تلفات انرژی بین دو مقطع $h_{fj} = \Delta x \cdot S_{fj}$

۱۲- محاسبه تراز آب در پایین دست تبدیل $h_2 = h_1 - \Sigma h_{fj} - \Delta y$ پایین دست / بالادست

۱۳- درصورت تطابق h_2 با فرض اولیه (حدسی) ← اتمام محاسبات
درغیراینصورت اصلاح مقادیر Δy وتکرار محاسبات از مرحله ۴

14/ مثال: یک کانال مستطیلی بتنی دقیق برای انتقال دبی $27.7\ m^3/s$ با شیب $1:1$ و حرکت غیریکنواخت با سرعت $3.6\ m/s$ و عمق نرمال $4\ m$ طراحی شده است. با توجه به این اطلاعات، ضریب زبری مانینگ $n=0.014$ و ضریب تلفات $C_\lambda=0.1$ و صرفنظر از افت انرژی در شیب طولی کانال را بدست آورید.

① → ② (2)

$A_1 = \frac{Q}{V_1} = \frac{27.7}{3.6} = 7.964\ m^2 \longrightarrow (b+y_1)y_1 = 7.964$

$A_2 = \frac{Q}{V_2} = \frac{27.7}{4} = 6.93\ m^2$ (نرمال) $\longrightarrow D = 4.2\ m$

$y_2 = \frac{1}{2}D = 2.1\ m$

نیمه پر ($A_2 \simeq A_1$)

$\Delta y = (1+C_\lambda)\left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right) = 0.17\ m \longrightarrow y_1 = y_2 + \Delta y = 2.1 + 0.17$

$y_1 = 2.27\ m \longrightarrow b = 1.12\ m$

$S = \frac{n^2 V_1^2}{R_1^{4/3}} = 2.443 \times 10^{-3}$

تبدیل با جریان فوق بحرانی

طراحی تبدیل‌های فوق بحرانی با هندسه ای خطی

α: زاویه بین دیواره‌های طرفین تبدیل با محور عمودی مجرا

m: ضریبی برابر ۲ تا ۳

$$tg\alpha = \frac{1}{m\overline{Fr}}$$

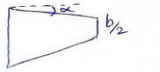
$$\overline{Fr} = \frac{Fr_1 + Fr_2}{2} \quad , \quad Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad , \quad D = \frac{A}{T}$$

مثال: یک تبدیل فوق بحرانی عرض شوت مستطیلی را به نصف کاهش می‌دهد. اگر دبی شوت $29.52\ m^3/s$ باشد و طول تبدیل $20\ m$ و ارتفاع آرام شوت در هر مقطع دو برابر عمق جریان در آن مقطع باشد، عرض شوت را محاسبه کنید.

$$m=3 \rightarrow tg\alpha = \frac{1}{3Fr}$$

$$tg\alpha = \frac{\frac{1}{2}(b - b/2)}{L_t} = \frac{b/4}{20}$$

$$\Rightarrow Fr = \frac{80}{3b} \quad (1)$$



$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad , \quad D = \frac{A}{T} = \frac{by}{b} = y \quad , \quad V = \frac{Q}{by} \rightarrow Fr = \frac{29.52}{\sqrt{9.81}\, y\, by} \quad (2)$$

$$(1),(2) \rightarrow \frac{80}{3b} = \frac{29.52}{\sqrt{981}\, b\, y^{1.5}} \rightarrow y = 0.5\ m$$

$$F_B = 2y = 1\ m$$

$$F_B = 0.61 + 0.04 V\sqrt[3]{y}$$

$$\Rightarrow V = 12.284\ m/s$$

$$b = \frac{Q}{yV} = \frac{29.52}{0.5 \times 12.284} = 4.81\ m$$

آبشارها: شیب شکن‌ها (Drops)

هدف: تطبیق خط پروژه با پروفیل طولی زمین طبیعی

کاربرد: زمانی که در مسیر کانال‌ها: شیب طولی اختلاف > شیب عمومی زمین برای کانال

آبشارها
- قائم (دیواری): اختلاف ارتفاع تا 1.5m — کنترل عبور خاکی
- مایل (شیبدار): اختلاف ارتفاع تا 5m — شیب
- پله‌ای: اختلاف ارتفاع بیشتر

اجزای آبشار: کنترل بالادست، بدنه و حوضچه آرامش ← پرش هیدرولیکی (تبدیل جریان فوق بحرانی به زیر بحرانی)

← تأمین تراز سطح آب در بالادست آبشار در دهانه‌ی از پیش تعیین شده

طراحی آبشارهای قائم:

آبشارهای قائم بدون آستانه کنترل کننده بالادست:

$$\begin{cases} x = 3 \sim 4 \times y_c \\ y_\circ = \dfrac{y_c}{1.4} \end{cases}$$

عدد آبشار $D_n = \dfrac{q^2}{gh^3}$ ، $q = \dfrac{Q}{b}$

پرش:
$$\begin{cases} y_1 = 0.54\, D_n^{0.425}\, h \\ y_2 = 1.66\, D_n^{0.275}\, h \\ L = 4.5 \sim 5.5\,(y_2 - y_1) \end{cases}$$

طول پرش

$\dfrac{y_2}{y_1} = 0.5\left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1\right)$

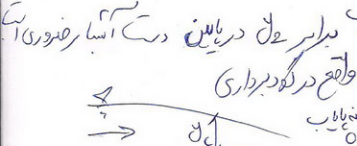
$L_d = 4.3\, D_n^{0.27}\, h$

$y_p = D_n^{0.22}\, h$

یا نمودار USBR (P68)

برای جلوگیری از فرار پرش تأمین تراز آب برابر y_2 در پایین دست آبشار ضروری است

راه‌حل متداول: آبشار با حوضچه آرامش واقع در گودبرداری



حالت استغراق از پایین دست: تراز پنجه پایاب
تراز پایاب کمتر از تراز کف بالادست ← $0.6 y_c$

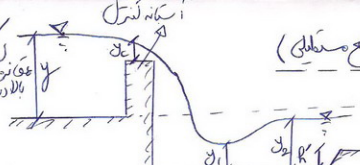
USBR (عمق استغراق $< 0.6 y_c$)

$h' = 0.5 y_c$

$L = \left[2.5 + 1.1\dfrac{y_c}{h} + 0.7\left(\dfrac{y_c^3}{h}\right)\right]\sqrt{h y_c}$

حتی‌الامکان حوضچه آرامش و قسمتی از پایین دست آن برای جلوگیری از فرسایش پنجه است

آبشار قائم یا آبشار کنترل بالادست: (مقطع مستطیلی)



الف) حالت جریان آزاد

تراز پایاب کمتر از تراز کف مجرای بالادست

عمق مزدوی آبشکن

$L = 3.8 y_c + 0.415 + H_L$ طول حوضچه آرامش

$B_t = 0.55\, y^{0.5}$ عرض کنج آبشکن

افت انرژی

$h' = 0.25 y_2$ (اختلاف تراز خطوط انرژی بالادست و پایین دست آبشکن)

$Q = C_d l y^{1.5} \left(\frac{y}{B_t}\right)^{1/6}$

C_d: ضریب دبی برابر 1.835

l: طول آبشکنه در بالادست آبشکن

y: درجهت عمود بر جریان

ب) حالت جریان مستغرق

تراز پایاب بیشتر از تراز کف مجرای بالادست

$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g}\left[(H_L + h_a)^{1.5} - h_a^{1.5}\right] + C_{d_2} l \sqrt{2g}(H_L + h_a)^{0.5}$$

$h_a = \frac{v_a^2}{2g}$ هد سرعت تقرب جریان مربوط به

ضریب دبی برابر 0.5

$L = 5.2 y_c + 1.06 + H_L$

$h' = 0.25 y_2$

طراحی آبشارهای مایل:

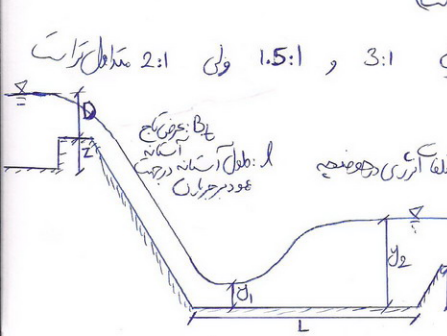
کاهش حجم عملیات خاکی نسبت به آبشار قائم

ارتفاع سقوط حداکثر 4.5m ، ارتفاع سقوط بیش از 4.5m ← استفاده از سوت

حداقل فاصله بین دو آبشار متوالی 60m ، فواصل کمتر

(شکل پرش هیدرولیکی پای آبشار بالادست)

شیب بدنه آبشار مایل: بین 3:1 و 1.5:1 ولی 2:1 متداول تراست



آبشار مایل با آبشکنه دو نقره‌ای:

H_L تلفات انرژی در حوضچه $= \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2}$ ، $L = 6 y_2$ (USBR: $L \gg 4.5 y_2$)

$h' = 0.25 y_2$ ، $Z \leq 0.4D$

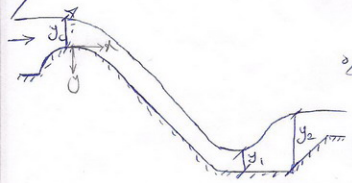
$Q = g l D^{1.5} (D/B_t)^{1/6}$ ، g: ضریب دبی $= 1.634$

$B_t = 0.55 \sqrt{D+Z}$

۲۰

آبشارهای با آستانه سهموی:

آستانه ← بالادست ← سهموی از دایره
آستانه ← پایین دست



$$x = y_c\left(\frac{4y}{g}\right)^{0.5} + y$$

$$h' \geq 0.125 y_2$$

$$4.5 y_2 \geq L \geq 3.75 y_2$$

طراحی آبشارهای لوله‌ای:

ارتفاع سقوط ۱ تا 5 ← اختصاری
قابلیت عبور از زیر جاده‌ها یا سایر راه‌ها

نوع I :
مناطق با احتمال برفگی کم
تأمین لوله واحدی که پرش هیدرولیکی جت اسپدال انرژی رخ دهد
دارای تنظیم کننده کنترل ورودی ولی درصورتیکه سرعت در لوله کمتر از ۱۳ باشد بازگیری کمی تبدیل کامی است.

طراحی : Pes بیات

نوع II :

به صورت سازه اصلی یا سازه زهکش تقاطعی

درصورت وجود رو رو و مواد مخلف ← برتری نسبت به نوع I

استهلاک انرژی از طریق یک پایه یا حوضچه آرامش

در حوضچه

استفاده از یک تنظیم کننده یا کنترل ورودی برای جلوگیری از مسدودشدن دهانه خروجی پایه در توسط علف‌های هرز

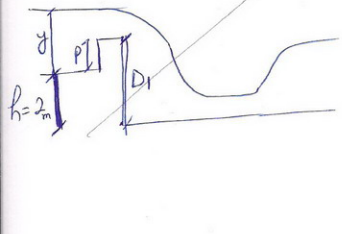
مثال: در کانالی ذوزنقه‌ای با هندسه $b=6$ m ، $z=3:1$ ، $S_0=0.01$ و $Q=11.5$ cms که پوشش بتنی دارد ($n=0.014$)، یک تک آبشار قائم رقوم کف کاهش 2 m می‌یابد. هندسه سازه پایه لازم در زیر این آبشار را برای حالت زیر محاسبه نمایید. ($C_d=1.835$)

الف) با وجود آستانه مستطیلی به عرض 87 cm در لبه بالادست

ب) بدون وجود آستانه در لبه بالادست

$$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2},\quad A=(b+zy_1)y,\quad R=A/P,\quad P=b+2\sqrt{1+z^2}y$$

$$\rightarrow y=1.55\ m$$



الف)

$$B_t=0.55y_1^{0.5}$$

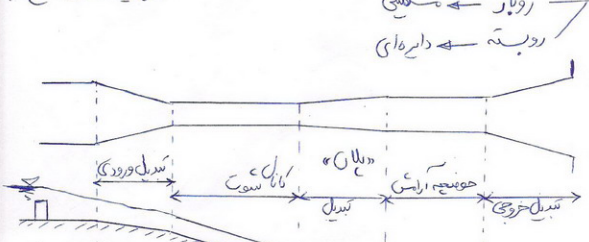
$$0.87=0.55y_1^{0.5}\rightarrow y_1=2.5\ m$$

$y_1=$

مثال ۲۵۶ بت

تند آب (Chute) :

- انتقال آب بین دو نقطه با اختلاف ارتفاع بیش از 5m و در فاصله نسبتاً زیاد
- شیب کف بیش از شیب بحرانی و جریان فوق بحرانی است.
- کنترل سطح آب در ابتدای تند آب با استفاده از سرریز یا دریچه تنظیم ← جلوگیری از نوسانات در بالادست افتادگی سطح آب
- کانال تند آب ← روباز ← مستطیلی / ذوزنقه‌ای
  ← روبسته ← دایره‌ای



- تبدیل‌ها با توجه به فوق بحرانی بودن جریان وضعیت حساسی دارد و می‌بایست طوری طراحی شوند که در آن هیچگونه امواج اضافی ایجاد نگردد.
  حداکثر زاویه تبدیل ورودی نسبت به محور کانال: 30°
  " " " " خروجی: 25°
  حداکثر زاویه تبدیل نسبت به محور کانال: (USBR)
  $\cot\alpha = 3.375\, Fr_a$ ، Fr_a: متوسط عدد فرود در ابتدا و انتهای تبدیل
- افت انرژی در تند آب ← طول تند آب کمتر از 100m ← صرفه‌جویی از نظر افت انرژی
  $h_f = S_f \cdot L$ ، $S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}}$ ← " " بیش از 100m
- تعیین پروفیل جریان ← روش گام‌به‌گام استاندارد ؛ نرم‌افزار WSPG
- ارتفاع دیواره‌های جانبی تند آب

$$h_w \geq \max\left\{ y_{max} + F_b \,,\, 0.4 y_c + F_b \right\} \quad , \quad (F_b)_{min} = 0.3\,m$$

$V > 9\,m/s$ ← ورود هوا به آب ← افزایش عمق ← F_b ↑ عرض کانال

$V_a = \frac{1}{(1 - \sin\theta)\sqrt{\sin\theta}} R^{2/3}$ ، عمق کانال $y_a \simeq \frac{b}{3}$

V_a: سرعت خطوط آب و هوا ، θ: زاویه کف کانال با افق

- حوضچه آرامش جهت استهلاک انرژی

کاربرد مناسب حوضچه : $4.5 \leqslant Fr_1 \leqslant 10$

$Fr_1 < 4.5$ ← پرش ناپایدار ← افزایش عرض حوضچه

$Fr_1 > 10$ ← انرژی مستهلک شده‌ای دیگر به جای حوضچه

برای دبی کنترل طرح ← حرکت پرش به سمت پایین دست ← کنترل موقعیت پرش تا دبی طراحی

طول حوضچه آرامش $L \geqslant 4 y_2$

عرض $B = \dfrac{18.46\sqrt{Q}}{Q + 9.91}$ for $Q < 2.8\ cms$

استفاده از حوضچه آرامش نوع USBR-III مناسب تر است.

- تشکیل امواج در کانال شتاب

اثرات نامطلوب : { بالا آمدن سطح آب و سرریز شدن از دیواره‌ها
ایجاد جریان پرسازی نایوی (slug flow) به صورت امواج علنی و عدم کفایت حوضچه آرامش در استهلاک انرژی

علل ایجاد امواج : { تغییرات ناگهانی سطح مقطع
نامتقارن بودن سازه در مسیر
وجود انحنا یا زوایا در مسیر شتاب

کانال با عمق کم آب ← تشکیل امواج

کانال با $\frac{y}{b} < \frac{1}{8}$ ← عدم ←

پیش بینی وقوع امواج (کانال با طول بیش از 30m) :

عدم وقوع امواج ← $V < 9M^2 + 1.1$

عدد ورشکف $V = \frac{2}{3}\frac{b}{P}\sqrt{gD\cos\alpha}$ ، P: محیط مرطوب و $D = A/T$ و

عدد موشورک $M^2 = \dfrac{V^2}{g s_f l \cos\alpha}$ ، α: زاویه خط انرژی با افق ، l: طول کانال

محاسبات فوق برای دبی‌های $0.2 < 0.5$ و 1 برابر دبی طرح صورت می‌گیرد.

اقدامات لازم برای جلوگیری از تشکیل امواج :

- تقسیم مقطع طولی به دو قسمت توسط دیواره
- طول کانال بیش از 60m ← تقسیم شتاب به چند شتاب با شیب کمتر
- شیب کانال کمتر از 20° ← افزایش شیب کف

طراحی تندآب‌ها:

۱- تعیین نوع سازه کنترل سطح آب (سرریز یا دریچه)

۲- تعیین $H_{U/S} = Z_c + y_c + \frac{V_c^2}{2g}$ در ابتدای سازه (بالادست)

۳- تعیین پروفیل طولی مسیر تندآب

۴- تعیین پروفیل سطح آب

۵- انتخاب تراز کف حوضچه آرامش ← محاسبه عمق آب در ابتدای حوضچه $(y_1) \equiv$ عمق اولیه پرش هیدرولیکی

← محاسبه عمق ثانویه پرش ← محاسبه H_2

۶- محاسبه $H_{D/S}$ کانال پایین دست

۷- $\begin{cases} H_2 = H_{D/S} & \leftarrow \text{گام بعد} \\ H_2 \neq H_{D/S} & \leftarrow \text{تغییر تراز کف حوضچه و تکرار مرحله ۵} \end{cases}$

۸- تکرار عملیات فوق برای دبی‌های 0.2 و 0.5 برابر دبی طرح

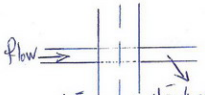
۹- تعیین طول و ارتفاع حوضچه آرامش براساس USBR-III

۱۰- کنترل تشکیل امواج

منابع مرجع:

USBR Design of small canal structures

زیرگذر (کالورت) : Culvert

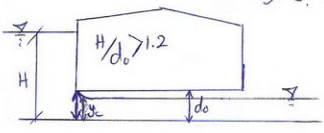


انتقال آب از زیر جاده ، کانال دیگر یا حفاظ آهنی

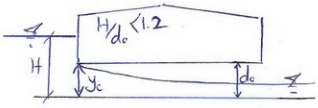
زیرگذر ← مجرا با جریان پر (اقتصادی‌تر)
مجرا با جریان غیرپر

وضعیت جریان در زیرگذر :

الف) سطح آب در مجرا به سقف نمی‌رسد. (تشکیل عمق بحرانی در مقطع ورودی)
کنترل ورودی - بایاب برسراب یا ارتفاع

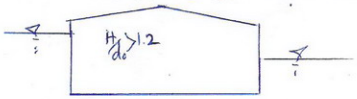


$S_0 < S_c$

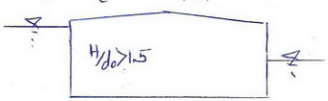


$S_0 > S_c$

ب) مجرا به صورت پرپل می‌کند. کنترل خروجی - تأثیر بایاب برسراب



$S_0 < S_c$



$S_0 > S_c$

طراحی زیرگذر:

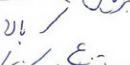
کانال ← آبیاری ← $V_{max} = 1.5\ m/s$
زهکشی (جریان ثقلی)

کنترل ورودی ← $V_{max} = 3.5\ m/s$
کنترل خروجی ← $V_{max} = 3\ m/s$

حداقل قطر $(d_o)_{min} = 0.6\ m$

طراحی زیرگذر دریاچه‌ای آبیاری:

- تعیین سرعت مجاز بسته به نوع تبدیل: تبدیل سنگی $V_{max}=1.5\ m/s$ ، تبدیل خاکی $V_{max}=1.05\ m/s$
- تعیین قطر لوله (حالت پرشدگی): $d_0=\sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$ ← $(d_0)_{min}=\sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{max}}}$
- تعیین وضعیت جریان
- کنترل جریان: پایین دست ← مجموع افت‌ها برابر با اختلاف رقوم سطح آب در سرآب و پایاب
  بالادست ← حالت روزنه
  $Q=CA\sqrt{2gH}$ ضریب دبی $C=(1/\frac{1}{d_0}-c)$
- ΔH: اختلاف ارتفاع بین کف کالورت و کف کانال بالادست
  $\Delta H > \frac{1}{2}d_0$ ← سرعت بحرانی



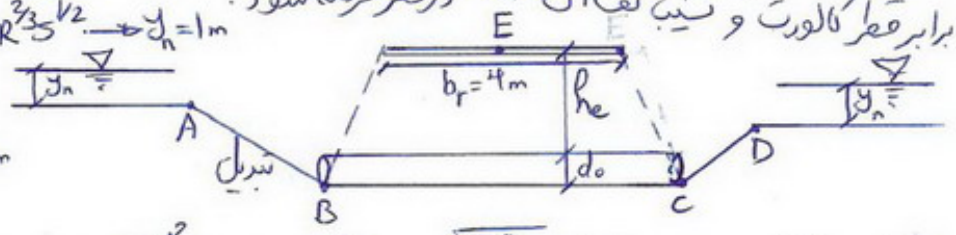
- حداقل شیب کف کالورت 0.005

مثال: عبور آب از زیر یک جاده فرعی نا زهندیک زیرگذر است. کانال از نوع خاکی با تنظیمات احداث $Q=3\,cms$، عرض کف $b=1.8\,m$، شیب جانبی $z=1$، شیب کف $S_o=0.0005$ و ضریب زبری 0.02 جاده با عرض $4\,m$ را قطع می‌کند. تراز محور جاده $101\,masl$ است. برای عبور مناسب جریان، بهترین ابعاد و طرح هندسی مسیر را طراحی نمایید. ارتفاع آزاد کانال $0.6\,m$، ضریب تلفات ورودی و خروجی از زیرگذر تبدیل به ترتیب 0.65 و 1، ارتفاع خاکریز روی لوله کالورت $0.6\,m$، شیب جانبی جاده در قطع با کانال $m'=1.5:1$، طول تبدیل ~~3~~ 4 برابر قطر کالورت و شیب کف آن 4:1 در نظر گرفته شود.

کانال خاکی: $Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2} \rightarrow y_n=1\,m$

$V=\frac{Q}{A}=0.8\,m/s$

$h_v=\frac{V^2}{2g}=0.03\,m$



کالورت:

تبدیل بتنی: $V_{max}=1.5\,m/s \rightarrow (d_o)_{min}=\sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{max}}}=1.6\,m$ $\leftarrow Q=VA=V\frac{\pi d_o^2}{4}$

(خاکی " $V_{max}=1.05\,m/s \rightarrow (d_o)_{min}=1.91\,m$)

(* تبدیل بتنی $\rightarrow d>0.9\,m$)

$d_o=1.6\,m \rightarrow A=2.01\,m^2 \rightarrow V=1.49\,m/s \rightarrow h_v=V^2/2g=0.11\,m$

طول لوله $l=b_r+2m'(h_e+d_o)=4+2\times1.5\times(0.6+1.6)=10.6\,m$

$S_f=\frac{n^2V^2}{R^{4/3}}=1.27\times10^{-3}$

بتن $n=0.013$, $V=1.49\,m/s$, $R=\frac{A}{P}=\frac{\pi d_o^2/4}{\pi d}=d_o/4=1.6/4=0.4\,m$

افت در لوله $h_p=S_f l=0.013\,m$

افت در تبدیل ورودی $h_t=(1+C_\lambda)h_v=(1+0.65)\times0.11=0.182\,m$

$\rightarrow h_{fk}=0.195$

$elev_B=elev_E-h_e-d_o=101-0.6-1.6=98.8\,masl$

طول تبدیل ورودی $L_t=3d_o=4.8\,m$

شیب کف 4:1: $elev_A=elev_B+\frac{L_t}{4}=100\,m$

کنترل ۱:

$\Delta H=elev_A-elev_B=100-98.8=1.2\,m > \frac{d_o}{2}=0.8\,m$

استفاده از سیفون معکوس یا کاهش شیب کف تبدیل

4:1 → 6:1

$elev_A=elev_B+L_t/6=99.6\,m$

کنترل ۲: تراز تاج کانال بالادست = $elev_A + y_n + F_B = 99.6 + 1 + 0.6 = 101.2$ > تراز کف محاره = 101

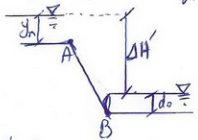
← پایین تر بردن تراز کف لوله (افزایش ارتفاع حائل زیر لوله (h_e)

h_e: $0.6 \xrightarrow{+1m} 1.6 \Longrightarrow \begin{cases} elev_B = (elev_B)_{old} + 1\ m = 97.8 \\ elev_A = (elev_A)_{old} - 1m = 98.6 \end{cases}$

طول لوله $l = b_r + 2m'(h_e + d_o) = 13.6\ m$

تراز تاج کانال بالادست کانو = $elev_A + y_n + F_B = 100.2$ ← پایین تراز کف محاره 0.8 m

کنترل ۳:



$\Delta H' \geq (1 + C_v)\Delta h_v$

$\Delta H' = (elev_A + y_n) - (elev_B + d_o) = 0.2\ m$

$(1 + C_v)\Delta h_v = 1.65\ (D.11 - 0.03) = 0.13\ m$

$0.2 > 0.13$ o.k.

شیب کف کانو $S' = 0.005$

$elev_C = elev_B - S'l = 97.8 - 0.005 \times 13.6 = 97.7\ m$

$elev_D = elev_A - h_{\text{آستانه}} = 98.6 - 0.2 = 98.4\ m$

$h_{\text{آستانه}} = S_f l + h_t = 0.017 + 0.182 = 0.2\ m$

شیب خروجی $L_t = L_{t_{\text{ورودی}}} = 4.8\ m$

سیفون معکوس (Inverted siphon):

- انتقال آب از زیر جاده، راه آهن، رودخانه، دره یا کانال (درصورت عدم امکان استفاده از کالورت)
- عملکرد برخلاف مسیر
- سازه‌ای مقرون به صرفه
- مشکلات اجرایی:

- حفارات حجمی ← حفاری در دهانه ورودی و خروجی سیفون
- قرارداری نوری در دهانه ورودی ← گرفتگی دهانه سیفون در اثر ورود مواد معلق
  - ته نشین شدن رسوبات در لوله سیفون
  - نیاز به آلایروی دائمی

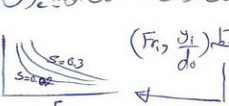
- سرعت مجاز

سیفون:
- کوتاه (عبور از زیر کانال و دهنه‌ی): $V_{max} = 1.5\ m/s$
- بلند: $V_{max} = 3\ m/s$

سرعت آب در کانال بالادست: $V_{min} = 2\ V_{d/s}$

- اختلاف تراز سطح آب در سراب و پایاب برابر با مجموع افت‌ها
  - وجود رسوبات در سیفون ← افزایش افت انرژی و احتمال پس زدن جریان
  - افزایش ۱۰ درصدی مجموع افت‌ها + تا فاصله $15\ m$ از مدخل سیفون برای
- بررسی وضعیت پرش هیدرولیکی در دهانه ورودی سیفون معکوس
  - کانال بالادست: $F_B \rightarrow 1.5F_B$
  - وقوع پرش ← ورود هوا به جریان ← ناپایدارشدن و ایجاد ضربه در جریان
  - به ازای $\frac{Q_{محقق}}{Q_{طرح}} = 0.2 \text{ و } 0.5$:

تعیین عمق نرمال ≡ عمق اولیه پرش y_1 ← $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}}$



نقطه $\frac{y_1}{d_0}$ ← بالای منحنی S ← وضعیت نامطلوب پرش
پایین " " ← مطلوب

وضعیت نامطلوب پرش ← تغییر قطر لوله یا درنظرگرفتن دو مجرا به جای یک مجرا

- شیب کف مجرا

حداکثر شیب در زانوها : 2:1

شیب کف قسمت افقی سیفون : 0.005 ≤ S ≤ 0.5

- ملاحظات اجرایی

عبور سیفون از زیر کانال خاکی ، حداقل فاصله 0.6 m

" " بتنی " " 0.15 m

" " زهکش " " 0.9 m

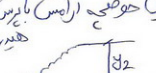
مثال برای P363

مستهلک کننده‌های انرژی:

انرژی جنبشی

عبور آب از روی سرریز، تخلیه کننده عمقی و ... با سرعت زیاد ← جریان فوق بحرانی و مخرب

⇐ مستهلک نمودن انرژی توسط سازه‌های مستهلک کننده انرژی از قبیل حوضچه آرامش یا پرش هیدرولیکی



$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}}$$

انواع پرش هیدرولیکی:

$1 < Fr_1 < 1.7$	پرش موجی شکل (undular jump) (بسیار ضعیف)
$1.7 \leqslant Fr_1 < 2.5$	پرش ضعیف (weak ")
$2.5 \leqslant Fr_1 < 4.5$	پرش نوسانی یا ضربه‌ای (oscillating ") نوسانات شدید در سطح آب و جریان دشوار
$4.5 \leqslant Fr_1 < 9$	پرش کامل و بدون نوسان در سطح آب، کنترل آبشستگی پایین دست
$Fr_1 \geqslant 9$	پرش قوی (strong ") شاید به مواقع برای جاریرش

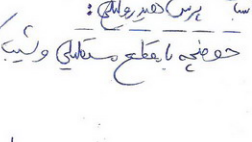
محاسبات پرش هیدرولیکی:

حوضچه با مقطع مستطیلی و شیب کم

افت انرژی در پرش $\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2}$

$$\frac{y_2}{y_1} = 0.5\left(\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1\right)$$

$$\frac{y_1}{y_2} = 0.5\left(\sqrt{1+8Fr_2^2} - 1\right)$$



نمودار تعیین طول حوضچه (USBR)

طول پرش (حوضچه بدون مانع) $L_j = 6.9\,(y_2 - y_1)$

(حوضچه با دیواره سرتاسری) $L_j = 5.9\,(y_2 - y_1)$

پرش روی سطح شیبدار با زاویه کف θ ($m = \cot\theta$)

$$L_j = \left(\frac{6.1 + \frac{4}{m}}{1 + \frac{11.2}{m^{1.5}}}\right) y_2$$

تنظیم و کنترل پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش

یک سرریز لبه پهن، گودال، آبشار

حداقل عمق لازم آب در حوضچه آرامش

حوضچه‌های آرامش استاندارد USBR :

- انتخاب حوضچه برای استهلاک انرژی براساس نوع پرش
- چنانچه پرش ضعیف باشد به استفاده از موانع نیاز نیست.

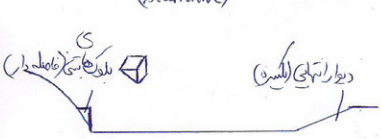
حوضچه نوع یک ← $1 < F_{r_1} < 1.7$ — USBR-I (بدون موانع) با شیب‌ها — طول حوضچه $L = 4y_2$

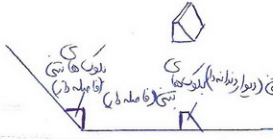
" " " " " " ← $1.7 \leq F_{r_1} \leq 2.5$ — $L = L_j$ (مناسب برای آبشار قائم با ارتفاع تا 1.5 m)

" چهار " " ← $2.5 \leq F_{r_1} < 4.5$ — USBR-IV (با موانع) با شیب‌ها — $L = L_j$ یا $L = 1.1 y_2$

تذکر: برای سرریزهای کوچک و جریان‌هایی با F_r و q کم ← USBR-IV مناسب نیست

حوضچه جایگزین (Alternative)



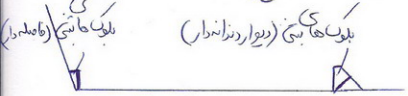


USBR - IV (ابعاد مطابق آیین‌نامه)

حوضچه جایگزین (ابعاد مطابق آیین‌نامه)

(if $V > 15 \frac{m}{s}$ → model) $V \leq 15 \frac{m}{s}$

حوضچه نوع شش USBR-II or III (با موانع) ← $4.5 \leq F_{r_1} \leq 9$



USBR - II

$y = 1.05 y_2$ ($V_1 > 18 \frac{m}{s}$)

سطح بلندتا ارتفاع $9 < 46 \frac{m^2}{s}$ و 60 m

USBR - III

$y = y_2$ ($V_1 \leq 18 \frac{m}{s}$)

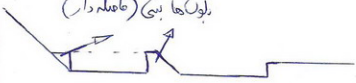
سرریز کوتاه و سد داخلی

ساخت حوضچه آرامش با موانع بصورت بی‌صفه ← $9 \leq F_{r_1} < 13$

مستهلک کننده آبی از نوع پرش هیدرولیکی با شیب تند استفاده ← $F_{r_1} > 13$

حوضچه استاندارد SAF (St. Anthony Falls Lab):

- برای سازه‌های کوتاه سنگ‌ریزی



- دامنه کاربرد $1.7 < Fr_1 < 17$

- طول حوضچه $L = \frac{4.5\, y_2}{Fr_1^{0.76}}$

- عمق آب در حوضچه $y_2 = f(Fr_1, y_2)$ ← جدول P323 برای

- در مقایسه با سایر حوضچه‌ها SAF عمرون به صرفه و دارای طول کمتری است و قابل رقابت با USBR III است.

عمق آزاد در حوضچه‌های آرامش:

USBR: $F_b = 0.1(Y_1 + y_2)$

(Y_1: عمق ثانویه پرش، سرعت در بخش سریز)

تعیین رقوم کف حوضچه:

رقوم کف حوضچه براساس عمق آب در حوضچه، عمق ثانویه پرش و تراز بالای تعیین می‌گردد.

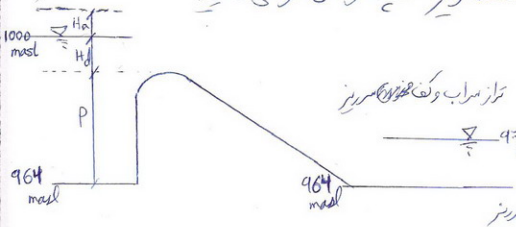
برای هر حوضچه ← نمودار حداقل عمق آب در بالای برحسب Fr_1 و عمق آب در حوضچه

مثال P324 برای

تنظیم و کنترل پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش P303 برای

محاسبه حداقل عمق لازم آب در حوضچه آرامش P309 برای

مثال : برای سرریز نوعی با مشخصات زیر حوضچه آرامش طراحی نمایید.



$Q_d = 2000$ cms

$H_d = 5.2$ m or تراز سراب و تاج سرریز

$(H_a = 0.04\ m)$

$P = 30.8$ m

$L = B = 75$ m طول تاج سرریز عرض حوضچه

$Z = 1000 - 964 = 36\ m \longrightarrow V_1 = \sqrt{2g(Z - H_d/2)} = 25.6\ m/s$

$y_1 = \frac{Q}{BV_1} = \frac{2000}{75 \times 25.6} = 1.042$ m (عمق عرفی $D = y$) $\quad Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = 8$

$y_2 = 0.5\, y_1 \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1\right) = 11.28\ m$, $q = \frac{Q}{L} = \frac{2000}{75} = 26.67\ m^2/s$

$4.5 < Fr_1 < 9$, $V_1 > 18\ m/s$, $P < 60\ m$, $q < 46 \Longrightarrow$ USBR-II

عمق آب داخل حوضچه $y_b = 1.05\, y_2 = 1.05 \times 11.28 = 11.85\ m$

$y_{TW} = 974 - 964 = 10\ m$

$y_b = 11.85\ m$

$\Rightarrow y_b > y_{TW}$ باید بیرون ریزش حوضچه آب داشته باشد

1.85 m سراب حداقل

2.1 m $\longrightarrow elev_{D/S} = 964 - 2.1 = 961.9$ masl

$Z = 36$ (قبلی) $+ 2.1 = 38.1 \longrightarrow V_1 = 26.39\ m/s$

$y_1 = 1.01\ m \longrightarrow Fr_1 = 8.38$

$y_2 = 11.48\ m \longrightarrow y_b = 1.05\, y_2 = 12.05\ m$, $y_{TW} = 974 - 961.9 = 12.1\ m$ OK

طول حوضچه USBR-II : $\frac{L_b}{y_2} = 4.23 \longrightarrow L_b = 4.23 \times 11.48 = 48.6\ m$

$F_b = 0.1(V_1 + y_2) = 0.1(26.39 + 11.48) = 3.8\ m$ ارتفاع دیواره حوضچه $= F_b + y_b = 15.85\ m$

سرریزها: (Spillways) Weirs

- عبور آب‌های اضافی و سیلاب از سراب به پایاب
- تبدیل جریان از زیربحرانی به فوق بحرانی در گذر از سرریز ← نیاز به مستهلک کننده انرژی

سد مخزنی: $h \geq h_{NWL}$ تاج سرریز بدون دریچه

سد انحرافی: $h = h_{NWL}$ کنترل کننده سطح آب

سرریز:
- دریچه دار (مقاطع تنگ رودخانه)
- بدون دریچه (مقاطع عریض رودخانه)

محل قرارگیری سرریز:
- داخل بدنه سد ← سرریز اوجی (Ogee Spillway)، سرریز لبه پهن (Broad-crested weir)
- سرریز معماری (Labyrinth spillway)
- خارج از بدنه سد ← سرریز جانبی (Side channell spillway)، سرریز شوت (Chute Spillway)، سرریز نیلوفری (لاله‌ای) (Morning Glory Spillway)

انتقال به تونل انحراف آب

همراه تونل انتقال یا آبشار

سرریز سیفونی (Siphon spillway)

عبور حجم زیادی از آب در عرض کم از روی طرح آب تا ثبات فشار منفی

$|P| < 0.7P_{atm}$

سرریز پله‌ای (stepped spillway)

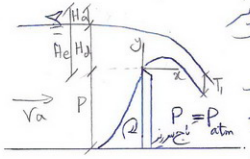
تکیه برای اصابت شوت زیاد آب

یا

Sec A-A

- طراحی سرریز
  - سدهای درجه یک و با خسارت جانی فراوان در صورت خرابی ← حداکثر سیلاب محتمل (PMF)
  - سدهای درجه دو و با خسارت جانی اندک و مالی فراوان در صورت خرابی ← سیلاب 10000 ساله
  - سدهای درجه سه با خسارت جانی اندک و مالی اندک در صورت خرابی ← سیلاب 500 تا 1000 ساله
  - سدهای انحرافی ← سیلاب 50 ساله

سرریز اوجی (Ogee):



معمولی ترین، ارزانترین و متداول ترین نوع سرریز

شکل منطبق با حرکت جریان از روی سرریز لبه تیز

⇐ ساخت سرریز بتنی مطابق بخش خمیدگی حباب جریان ≡

P_{atm} = فشار جو

Blaisdell :

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

$$He = Hd + Ha \quad , \quad Ha = \frac{Va^2}{2g} \quad , \quad T_1 = 0.56\,Hd$$

$H \uparrow \Rightarrow P^- \Rightarrow$ روی تاج سرریز $\Rightarrow$ فرسایش و خوردگی

$Hd \uparrow$ (بیش از حد) $\Rightarrow$ ایجاد اصطکاک اضافی $\Rightarrow$ افزایش افت انرژی

$H = Hd_{design}$

سرریز استاندارد WES (موسسه تحقیقاتی آبراهه های آمریکا):

(Waterways Experiment Station)

- ساخت سرریز در مقطع مستطیلی

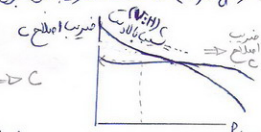
$$Q = C\,L_e\,He^{1.5}$$

L_e : طول مؤثر تاج سرریز

$He = Hd + Ha$ ($Ha = \frac{Va^2}{2g}$) (Hd = هدر آب روی تاج سرریز برای دبی طرح)

$C = f(P, Hd, $ شیب بدنه سرریز $, TW, piers)$ ضریب دبی جریان

(Hd, P اثر)



(اثر شیب بدنه سرریز)

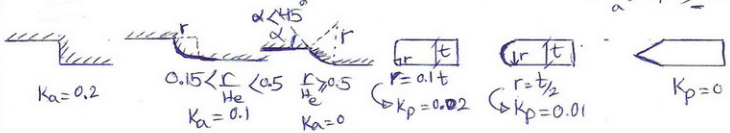
(اثر TW)

اثر پایه های پل (Piers) و دیواره سواحل (abutment):

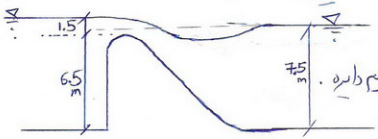
$$L = L_e + 2He(NK_p + K_a)$$

L_e: طول مؤثر تاج سرریز — N: تعداد پایه های پل — K_p: ضریب شکل پایه پل و دیواره ساحلی — K_a: ضریب کشش دیواره ساحلی

مقادیر K_p و K_a :



مثال : سرریز اوجی برای بند انحرافی با مشخصات زیر را طراحی نمایید.



دبی طرح 110 cms

پایه های پل با ضخامت 1.5m با دماغه نیم دایره .

عرض دهانه های پل حداکثر 6m

دماغه سواحل بصورت ربع دایره به شعاع 0.3m .

فرض : $\frac{He}{Hd}=1$

$H_d=1.5\,m,\ P=6.5\,m,\ d=7.5\,m,\ R_d=0.5\,m$

$\frac{P}{H_d}=\frac{6.5}{1.5}=4.33 \xrightarrow{\text{جدول}} \frac{C}{C_d}=1 \longrightarrow C=2.225$

ضریب تصحیح $\longrightarrow$ سیکنه سرریز گاگم $=1$

$\left.\begin{aligned}\frac{R_d+d}{He}&=\frac{0.5+7.5}{1.5}=5.33\\ \frac{R_d}{He}&=\frac{0.5}{1.5}=0.33\end{aligned}\right\}\xrightarrow{\text{جدول}}$ کاهش ضریب دبی $=6.4$

$\Rightarrow C=(1-0.064)\times 2.225=2.083$

$q=\frac{Q}{L}=CH_e^{1.5}=2.083\times 1.5^{1.5}=3.827\ \frac{m^2}{s}$

$V_a=\frac{q}{P+H_d}=\frac{3.827}{8}=0.478\ m/s \longrightarrow H_a=\frac{V_a^2}{2g}=0.012\ m$

$H_e=H_d+H_e=1.5+0.012=1.512\ m$

$\frac{He}{Hd}=\frac{1.512}{1.5}=1.008\simeq 1$ ، $\frac{C}{C_d}\simeq 1 \longrightarrow$ عدم نیاز به تکرار محاسبات

$$L_e = \frac{Q}{C H_e^{1.5}} = \frac{110}{2.083 \times 1.512^{1.5}} = 28.4 \text{ m}$$

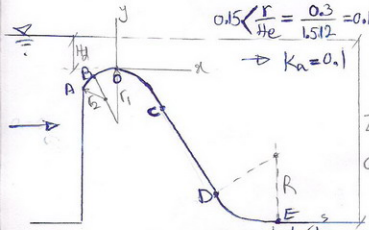
تعداد دهانه‌ها $N = \frac{L_e}{d} - 1 = \frac{28.4}{6} - 1 = 3.74 \rightarrow 4$

$$L = L_e + 2H_e(NK_p + K_a) = 28.4 + 2 \times 1.512 (4 * 0.01 + 0.1) = 28.82$$

دهانه‌ها: 0.01 ضریب دایره — ستون‌ها: 0.1 ضریب دایره

فاصله ستون‌ها $d = \frac{L}{5} = 5.76 \text{ m} \rightarrow 5.8 \text{ m}$

$0.15 < \frac{r}{H_e} = \frac{0.3}{1.512} = 0.198 < 0.5$



$$L = 4 \times 1.5 + 5 \times 5.8 + 2 \times 0.3 = 35.6 \text{ m}$$

(t: دهانه ستون، d: دهانه دهانه)

طراحی بدنه سرریز بلند WES: مناسب برای سدهای بتنی وزنی (روی بدنه سد)

- انتخاب شکل بدنه سرریز در سراب براساس مسائل پایداری
  - خاکی ← شکل پلاک
  - بتنی / سنگی ← شکل بدنه قائم

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

OB: $\Delta x_{OB} = a$

AB: $\Delta x_{OA} = b$

شکل بدنه سرریز (V/H)	3/0	3/1	3/2	3/3
a/H_d	0.175	0.139	0.115	0
b/H_d	0.282	0.237	0.214	0.199
r_1/H_d	0.5	0.68	0.48	0.45
r_2/H_d	0.2	0.21	0.22	—
K	0.5	0.516	0.515	0.534
P	1.85	1.836	1.81	1.776

- تعیین مختصات نقاط AB, OB, OC بر حسب H_d

- تعیین مختصات نقطه C

$\frac{dy}{dx} = -(1.25 \sim 1.667)$ (پایین دست / بالادست)

$\frac{dy}{dx} = -\frac{KP x^{P-1}}{H_d^{P-1}}$

- شعاع انحنای بدنه سرریز

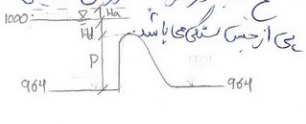
$R = (0.2 \sim 0.5) H_{res}$

ارتفاع آب در مخزن

(دیگر) $R = 0.305 \times 10^{\left(\frac{V_1 + 6.4 H_d + 4.88}{3.6 H_d + 19.52}\right)}$ ، $V_1 = \sqrt{2g(z - H_d/2)}$

- تعیین مختصات نقطه D با توجه به R و رسم خط CD.

مثال: مطلوب است طرح سرریز اوجی بدنه قائم در سراب در صورتی که دبی طرح $2000\ cms$ عرض دهانه (طول تاج سرریز) $75m$ باشد. سرریز بدون پایه و دریاچه سطحی ساخته می‌شود. رقوم سطح آب در سراب در زمان سیلابی $1000\ msl$ و رقوم بستر در سراب در پایاب $964\ msl$ است



انتخاب P / انتخاب C (طول سرریز) — شروع محاسبه از طرفین

فرض: $C = 2.225$

$$Q = C L_e H_e^{1.5} \longrightarrow 2000 = 2.225 \times 75 H_e^{1.5} \longrightarrow H_e = 5.237\ m$$

$$L_e = L_e + 2H_e(N K_p + K_a) = L$$

$$V_a = \frac{Q}{\underbrace{(P+H_d)}_{1000-964=36} L} = \frac{2000}{36 \times 75} = 0.74\ m/s \longrightarrow H_a = \frac{V_a^2}{2g} = 0.028\ m$$

$$H_d = H_e - H_a = 5.237 - 0.028 = 5.209\ m$$

$$P + H_d = 36 \longrightarrow P = 36 - 5.209 = 30.791\ m$$

$$P = 30.8\ m\ ,\ H_d = 5.2\ m$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{P}{H_d} &= \frac{30.8}{5.2} = 5.92 \\ \frac{H_e}{H_d} &= \frac{5.237}{5.2} = 1.007 \end{aligned}\right\} \longrightarrow \frac{C}{C_d} = 1 \quad \text{o.k.}$$

$C_d \rightarrow 2.225$

رقوم پایاب معلوم نیست ← عدم امکان رطرفگرفتن آبرسد

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

شیب بدنه سرریز $= 3/0$ → $\frac{a}{H_d} = 0.175,\ \frac{b}{H_d} = 0.282,\ \frac{r_1}{H_d} = 0.5,\ \frac{r_2}{H_d} = 0.2$

$K = 0.5,\ p = 1.85$

$a = 0.91,\ b = 1.47,\ r_1 = 2.6,\ r_2 = 1.04$

$$y = -0.123 x^{1.85}$$

OC محاسبه منحنی

$$\frac{dy}{dx} = -0.123 \times 1.85\ x^{0.85}\ ,\ \frac{dy}{dx} = -(1.25 \sim 1.667) \overset{\text{تقریبی}}{=} -1.667 \xrightarrow[\text{تقریبی}]{} \begin{aligned} x_c &= 10.41\ m \\ y_c &= -9.38\ m \end{aligned}$$

$$R = f(G, H) = 14.2\ m$$

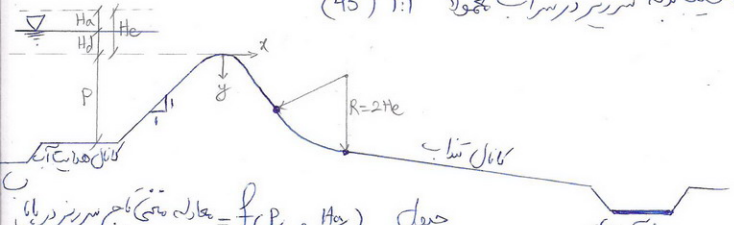
شعاع انحنا در پنجه سرریز

$$V_1 = \sqrt{2g(z - H_d/2)} = 25.6\ m/s$$

$P + H_d = 36$

طراحی بدنه سرریز لوله‌ای بدون دریچه WES : مناسب برای سدهای خاکی و سنگریزه‌ای (تاج از بدنه سد)
(همراه تنداب)

- شیب بدنه سرریز در سراب معمولاً 1:1 (45°)



معادله بدنی تاج سرریز در پایاب $= \frac{y}{Hd} = f\left(\frac{P}{He}, \frac{Ha}{He}\right)$ جدول (برامی P270)

بدنی تاج سرریز در سراب $= \frac{y}{He} = f\left(\frac{Ha}{He}\right)$ جدول (برامی P270)

مثال: مطلوب است محاسبات هیدرولیکی و طرح بدنه سرریز برای تنداب با مشخصات زیر:

- سرریز در فاصله 30 متر دورتر از ساحل در تاج سد قرار گرفته و می بایست دبی 55 cms را توسط کانال تنداب به پایین دست منتقل نماید.
- رقوم تاج سرریز هم سطح رقوم نرمال مخزن (NWL) و 1.5 m پایین‌تر از رقوم حداکثر مخزن (MWL) است
- پایه‌های پل ناحیه‌ای به شکل نیم دایره و حداکثر عرض دهانه‌ها 6 m می‌باشد.
- دیواره‌های ساحلی با شعاع 1.5 m و زاویه 30° نسبت به محور جریان ساخته می‌شوند. 0.2H
- ضریب زبری کانال خاکی جهت هدایت آب $n=0.0225$ و اصکموضعی در دهانه ورودی به کانال 0.1 ارتفاع بطریسرعت در کانال در نظر گرفته شود.

با توجه به مشخص نبودن ارتفاع سرریز می‌توان گزینه‌های مختلفی برای P در نظر گرفت و بر اساس سایل اقتصادی (حجم خاکی) و پایداری بهترین گزینه را انتخاب نمود.

فرض: $P = 0.6m$, $H_e = H_d = 1.5m$ $\longrightarrow \frac{P}{H_d} = 0.4$ ، $\frac{H_e}{H_d} = 1 \longrightarrow \frac{C}{C_d} = 0.97 \longrightarrow C = 0.97 \times 2.225 = 2.158$

شیب بدنه سراب 1:1 $\longrightarrow$ ضریب تصحیح $= 1.014 \longrightarrow C = 1.014 \times 2.158 = 2.19$

اگر پایاب (TW) (جریان با پایاب فوق بحرانی): $\frac{P+d}{He} = \frac{P+Hd}{He} = \frac{0.6+1.5}{1.5} = 1.4 \longrightarrow \frac{P_d}{He} = 0.9$ ، درصد تکمیل $= 3\%$

$\longrightarrow C = 0.97 \times 2.19 = 2.12$

۴۰/

$q = C H_e^{1.5} = 2.12 \times 1.5^{1.5} = 3.895 \ m^2/s$

$V_a = \frac{q}{P+H_d} = \frac{3.895}{0.6+1.5} = 1.85 \ m/s \longrightarrow H_a = \frac{V_a^2}{2g} = 0.17 \ m$

$S_f = \frac{n^2 V_a^2}{R^{4/3}} = \frac{0.0225^2 \times 1.85^2}{2.1^{4/3}} = 0.00064 \longrightarrow h_f = S_f \frac{l}{30} = 0.02 \ m$

شعاع هیدرولیکی $R = y = P + H_d = 2.1$

مجموع افت انرژی از محل آزمون تا سرریز $= 0.1 H_a + h_f = 0.1 \times 0.17 + 0.02 = 0.04 \ m$

$\Rightarrow H_e = 1.5 - 0.04 = 1.46 \ m$

$H_d = H_e - H_a = 1.46 - 0.17 = 1.29 \ m$

$\frac{P}{H_d} = \frac{0.6}{1.29} = 0.47$ ، $\frac{H_e}{H_d} = \frac{1.46}{1.29} = 1.13 \longrightarrow \frac{C}{C_d} = 0.985$: C محاسبه

$\frac{C}{C_d} = 1:1 \longrightarrow$ ضریب تصحیح $= 1.013 \longrightarrow C = 1.013 \times 2.19 = 2.22$

ارتفاع آب: $\frac{H_d + d}{H_e} = \frac{H_d + P}{H_e} = \frac{1.29 + 0.6}{1.46} = 1.29 \longrightarrow \frac{h_d}{H_e} = 0.77 \longrightarrow h_d = 1.12 \ m$

C_d از نمودار $= 6/$

$\Rightarrow C = 0.94 \times 2.22 = 2.087$

عمق آب در بالادست سرریز $d = (P + H_d) - h_d = 0.77 \ m$

$L_e = \frac{Q}{C H_e^{1.5}} = \frac{55}{2.087 \times 1.46^{1.5}} = 14.85 \ m$

تعداد پایه‌ها $N = \frac{L_e}{6} - 1 = \frac{14.85}{6} - 1 = 1.48 \longrightarrow 2$

حداکثر عرض پایه‌ها

$L = L_e + 2 H_e (N K_p + K_a) = 14.85 + 2 \times 1.46 (2 \times 0.01 + 0) = 14.9 \simeq 15 \ m$

0.01 ← K_p ، 0 ← K_a ، 3×5 m

$\frac{I}{H_e} = \frac{1.5}{1.46} = 1.03 > 0.5$ ، $\alpha = 30° \text{ تا } 45°$

$L = 3 \times 5 \ m + 2 \times 0.5 \ m + 2 \times 0.5 \ m = 16.4 \ m$

عرض طرفین

$\frac{H_a}{H_e} = \frac{0.17}{1.46} = 0.12$ ، $\frac{P}{H_e} = \frac{0.6}{1.46} = 0.41 \longrightarrow$ معادله پایین سرریز در بالادست: $y = 0.714 \ x^{1.747}$

$\Rightarrow y = 2.304 \ x^{1.747}$

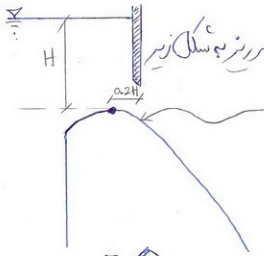
$\frac{H_a}{H_e} = 0.12 \xrightarrow{\text{جدول}} (x, y)$

معادله پایین سرریز در پایین‌دست: $y = 1.905 \ H_d^{0.747}$

شعاع پنجه سرریز: $R = 2 H_e = 2.92 \ m$

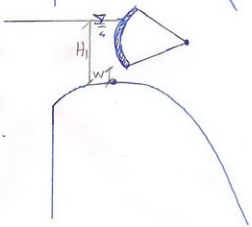
طراحی بدنه سرریز با دریچه :

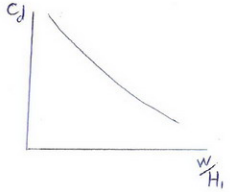
- استفاده از دریچه جهت کنترل جریان
- امکان ایجاد خلاء در پایین دست دریچه ← راه حل استفاده از سرریز به شکل زیر



در صورت عدم امکان استفاده از انحنا:

شیب بدنه سرریز در پایاب { ۱V:3H ، ۱V:2H (با ملاحظات) }





نمودار P166 براجی