# www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

نمونه

# هیدرولیک (کانال های باز)

Open Channel Hydraulics

* کانال های باز

تقسیم بندی انواع جریان :

- بر جریان : جریان با سطح آزاد (کانال ها - رودخانه ها - دریاها)
  جریان تحت فشار (لوله های پر)
  جریان سطح های متخلل

- جریان های حاصل
  مخلوط آب و هوا (هوادهی و کویتاسیون)
  مخلوط آب و رسوب (پرشدن مخازن سدها)

- زمان :
  - دائمی یا ماندگار Steady $\frac{\partial}{\partial t}=0$
  - غیردائمی یا ناماندگار Unsteady (سیل، موج دریا) $\frac{\partial}{\partial t}\neq 0$

- مکان
  - ابعاد مکانی : 1D, 2D تقریب های مهندسی
    3D (واقعی و دقیق)
    در هر سه جهت x (طول)، y (عرض)، z (عمق)
    تغییرات وجود دارد.

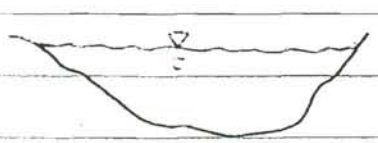
www.ttfar.ir

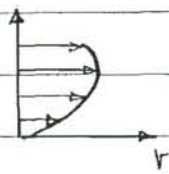
2

1D ← $\frac{\partial}{\partial z} \simeq \frac{\partial}{\partial y} \simeq 0$ , $\frac{\partial}{\partial x} \neq 0$ (جهت غالب جریان)

بعد مقطع : عرض x ، طول x

2D ← از تغییرات در یکی از جهات y یا z صرف نظر می‌کنیم



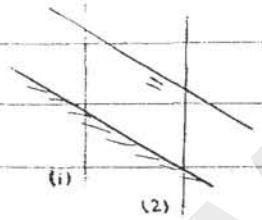



◄ حداکثر سرعت پایین‌تر از سطح آب است.

◄ تغییرات مکانی :

$\frac{d}{dx} = 0$ Uniform ـ یکنواخت

ـ غیریکنواخت (متغیر) Non-uniform (Varied flow)



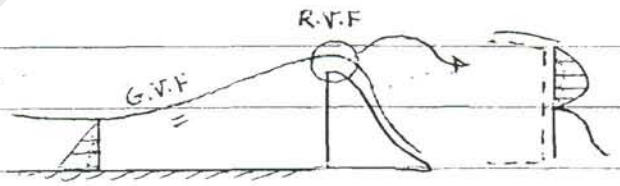

جریان یکنواخت

$y_1 = y_2$ ، $V_1 = V_2$

◄ براساس کدام تغییرات جریان غیریکنواخت به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود :

ـ جریان متغیر تدریجی (توزیع هیدرواستاتیک) G.V.F

ـ جریان متغیر سریع (توزیع غیرهیدرواستاتیک فشار) R.V.F




◄ جریان متغیر مکانی Spatially Varied Flow

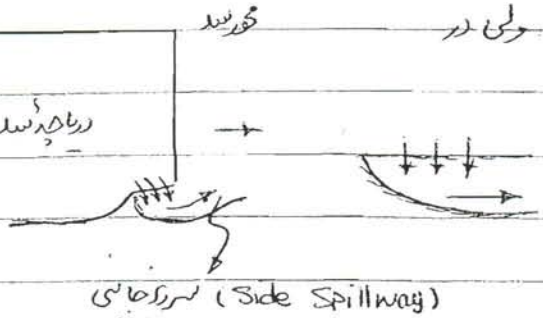
✗ در طول کانال تغییرات دبی داریم. ← افزایش دبی

✗ کاهش دبی

www.ttnar.ir

3

◄ در سرریز جانبی افزایش دبی داریم ولی در مقطع عرضی رودخانه، کاهش دبی داریم.



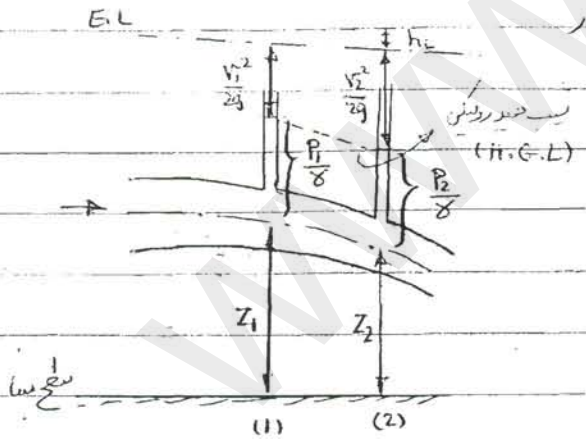

◄ جریان دائمی ثابت

✗ در طول کانال تغییرات دبی نداریم.

○ جریان‌هایی که در درس هیدرولیک با آن‌ها سروکار داریم عبارتند از:

۱- با سطح آزاد ۲- یک بعدی (راهی) ۳- یکنواخت و متغیر (تدریجی، سریع)
۴- دبی ثابت ۵- بستر صلب (غیرقابل فرسایش)

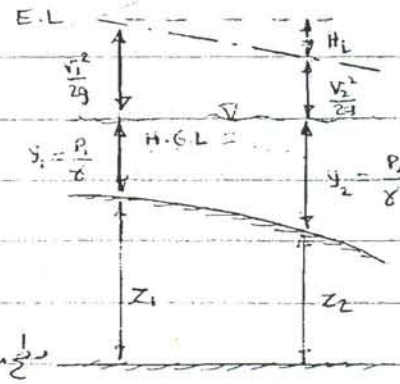
◄ تفاوت جریان‌های با سطح آزاد و تحت فشار




جریان تحت فشار

$$H_L = H_1 - H_2$$

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$




◄ در جریان با سطح آزاد، خط انرژی هیدرولیکی بر سطح آزاد منطبق است

جریان با سطح آزاد

$$H = Z + y + \frac{V^2}{2g}$$



www.tnai.ir

- عامل محرک در جریان تحت فشار گرادیان فشار و در جریان با سطح آزاد نیروی ثقل است.
مهم‌ترین مقاومت بین این دو جریان، عامل محرک است.

- عدد مهم در جریان با سطح آزاد عدد فرود است.
ولی در جریان تحت فشار، عدد رینولدز می‌باشد.

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

D ← (عمق هیدرولیکی)

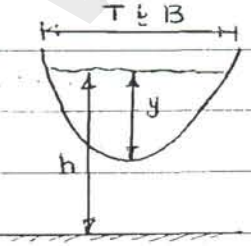
$$F_r = \begin{cases} <1 & \text{Sub_Critical} \quad \text{زیر بحرانی} \\ 1 & \text{Critical} \quad \text{بحرانی} \\ >1 & \text{Super_Critical} \quad \text{فوق بحرانی} \end{cases}$$

- دامنه تغییرات زری‌ها در جریان با سطح آزاد بیشتر است.
(دامنه تغییر زری در کانال‌های باز بیشتر از جریان تحت فشار است.)

✗ انواع کانال‌ها:

- طبیعی — مصنوعی
- حلزونی (کانال پایه‌دار)
- تند، آبراه، شوت (کانال با شیب تند)
- کالورت

✗ مشخصه‌های هندسی کانال‌ها:




y: عمق  h: تراز سطح آب

A: سطح مقطع  P: پرایمتر مرطوب
سطح تماس آب با جداره‌ها

$R = \frac{A}{P}$ : شعاع هیدرولیکی

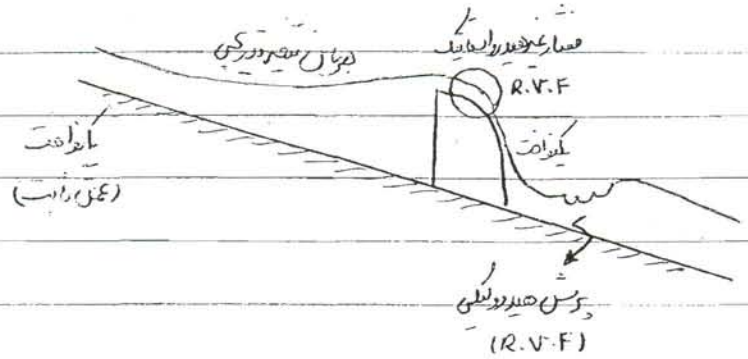
$A\sqrt{D}$ = فاکتور سطح

$D = \frac{A}{T}$ : عمق هیدرولیکی
T: عرض سطح

www.tinar.ir

جریان دائمی $(\frac{\partial}{\partial t}=0)$

یک بعدی

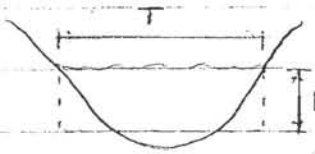



* پرش هیدرولیکی زمانی رخ می دهد که جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی تبدیل شود.

فوق بحرانی ← زیر بحرانی

$F_r>1$ $F_r<1$ $F_r=\frac{V}{\sqrt{gD}}$

$D=\frac{A}{T}$ ← عمق هیدرولیکی




$F_r=\frac{V}{C}$ , $C=\sqrt{gD}$ ↓

سرعت انتشار امواج ثقلی نسبت به آب ساکن

◄ هر گونه تغییر در جریان را می توان موج نامید.

در مقطع مستطیل $D=y \Rightarrow C=\sqrt{gy}$

◄ در کانال باز انواع انتشار امواج را در حالات مختلف بررسی می کنیم:

• زیر بحرانی $F_r<1 \Rightarrow \frac{V}{C}<1$

$\xrightarrow{C-V}$ $\xrightarrow{V+C}$ $\Rightarrow V<C$

* امواج با سرعت بیشتر به سمت پایین دست و امواج با سرعت کمتر به بالادست حرکت می کنند.

* اگر جریان فوق بحرانی باشد امواج هردو به سمت پایین دست حرکت می کنند.



www.itnar.ir

★ در جریان های تک فاز به صورت تئوری $C=\sqrt{gD}$ ، بی نهایت است و عددی که به آن نسبت داده می شود حدود 1 km/s است.

◄ رابطه انرژی :

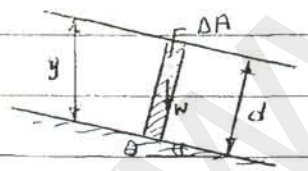
$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

★ جریان با سطح آزاد ← $\frac{P}{\gamma} = y \Rightarrow H = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g}$

★ دو حالت حاصل داریم : $\frac{P}{\gamma} = y C_\theta^2$ ← شیب زیاد

$\frac{P}{\gamma} = y \pm c$ ، $c = \frac{V^2 y}{rg}$ ← شعاع انحناء ← انحنای خطوط جریان

◄ اگر $C_\theta^2$ به یک نزدیک باشد، شیب کم است و اگر $C_\theta^2$ از یک فاصله داشته باشد و خیلی کوچک تر باشد، شیب زیاد است.

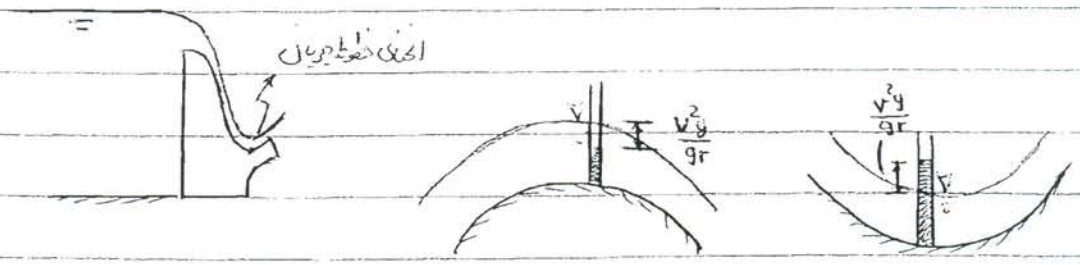



$d = y C_\theta$

وزن ستون آب $= \gamma \times \Delta A d$

وزن ستون آب عمود بر کف : $\gamma \Delta A d C_\theta$ ⇒ فشار $P = \gamma d C_\theta = \gamma y C_\theta^2$

$\Rightarrow \frac{P}{\gamma} = y C_\theta^2$




$-\nabla \vec{P} + \rho \vec{g} = \rho \vec{a}$

www.tinar.ir

7

★ اگر شتاب جریان قابل توجه باشد، توزیع فشار غیرهیدرواستاتیک می‌شود.

★ چون شتاب در نقاط مختلف، متفاوت است، در رابطه $\frac{V^2 y}{rg}$، شتاب اکنای متوسط را در نظر می‌گیریم.

★ ضرائب معادله، 1.1 تا 1.15 است بنابراین در بیشتر موارد از آن صرف نظر می‌کنیم.

• قوانین حاکم:

۱- پیوستگی ← جریان دائمی یک بعدی — $Q = VA$

جریان غیردائمی یک بعدی — $\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$

۲- رابطهٔ انرژی

۳- رابطهٔ اندازه حرکت

فصل دوم: کاربرد رابطهٔ انرژی در کانال های باز

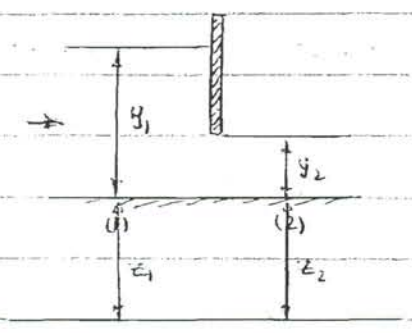
★ کانال مستطیل:

$Q = bq \rightarrow q = \frac{Q}{b} = Vy$

لذا دبی در واحد عرض

$\rightarrow \frac{V^2}{2g} = \frac{q^2}{2gy^2}$

◄ در شکل زیر، کانال مستطیل است. (b ثابت)
از تلفات انرژی بین قبل و بعد از دریچه صرف نظر می‌کنیم. مقدار دبی (Q) را بدست آورید.




$H_1 = H_2$ ; $h_L = 0$

شیب کف کانال صفر است. سطح مبنا

$z_1 = z_2$



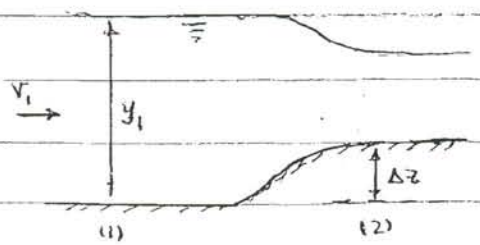
www.tmar.ir

$$H_1 = H_2 \rightarrow z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\rightarrow y_1 + \frac{q^2}{2g y_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2g y_2^2} \qquad (q = \frac{Q}{b})$$

$$\Rightarrow y_1 + \frac{Q^2}{2g A_1^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2g A_2^2}$$

◄ کانال مستطیل و b ثابت است.
$y_1$ ، $V_1$ و $\Delta z$ معلوم است دبی
مقطع (1) و (2) تلفات انرژی نداریم.
$y_2$ را بدست آورید.




★ اولین گام در حل مسئله تشخیص جریان زیر بحرانی یا فوق بحرانی است

جریان فوق بحرانی $\rightarrow y_1 < y_2$ ، جریان زیر بحرانی $\rightarrow y_1 > y_2$

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow$$

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \underbrace{(z_2 - z_1)}_{\Delta z} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow$$

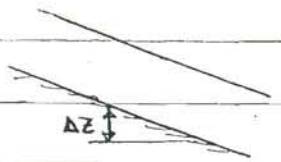
$$\text{معلوم} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = y_2 + \frac{q^2}{2g y_2^2}$$

★ در حقیقت هدف حل معادله $y_2 + \frac{q^2}{2g y_2^2} =$ ثابت می باشد.

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \qquad \text{انرژی مخصوص}$$

◄ انرژی مخصوص، انرژی است در نسبت به کف کانال سنجیده می شود.
★ انرژی کل در سیم جریان می تواند ثابت باشد و یا به طور کلی افت کاهش یابد ولی انرژی مخصوص

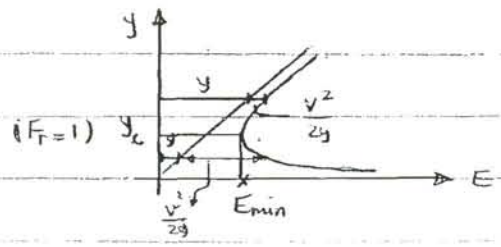
در سیر جریان می تواند افزایش پیدا کند.




* در جریان یکنواخت علی رغم اینکه انرژی مکانیکی کاهش می یابد (اتلاف انرژی داریم)، انرژی مخصوص ثابت می ماند.

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2}$$

جریان یکنواخت : $\Delta Z = h_L$




$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad (q: \text{ثابت})$$

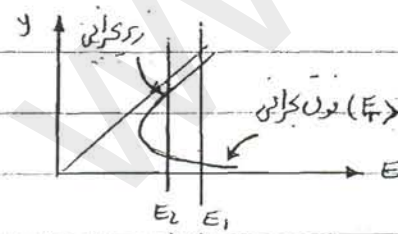
$$H = z + E$$

* اگر E افزایش یابد، z کاهش پیدا می کند و اگر z زیاد شود، E کم می شود.

$$H_1 = H_2 \Rightarrow E_1 + z_1 = E_2 + z_2 \Rightarrow E_2 = E_1 + z_1 - z_2$$

$$\Rightarrow E_2 = E_1 - \Delta z$$

* $E_2$ به اندازه $\Delta z$ از $E_1$ کمتر است. (اگر $\Delta z = z_2 - z_1$ فرض شود.)




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

عمق بحرانی $(y_c)$ $\leftarrow F_r = 1$

$$y_c = \frac{v^2}{g} \Rightarrow E_c = y_c + \frac{v_c^2}{2g} = y_c + \frac{g y_c}{2g} \Rightarrow \boxed{E_c = 1.5 y_c}$$

* برای دبی های مختلف، منحنی جابجا می شود ولی برای یک دبی ثابت، منحنی یکی است.

* همان طور که در نمودار مشاهده می شود خط مربوط به $E_2$ منحنی را در دو نقطه قطع کرده است که یکی در حالت جریان زیربحرانی و دیگری در جریان فوق بحرانی می باشد.



www.ttnar.ir

جریان‌های زیربحرانی و فوق بحرانی:

جریان زیربحرانی $F_r < 1$ ، $y > y_c$

جریان فوق بحرانی $F_r > 1$ ، $y < y_c$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} \quad , \quad y_1 > y_2 \Rightarrow F_{r_1} < F_{r_2}$$

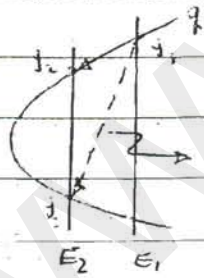
برای کانال مستطیل: $E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{q^2}{gy^3}$

$$\Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{V^2y^2}{gy^3} = 1 - \frac{V^2}{gy} \Rightarrow \boxed{\frac{dE}{dy} = 1 - F_r^2}$$

$$\frac{dE}{dy} = 0 \Rightarrow F_r = 1$$

★ عامل انعطاف‌پذیری کانال رخ می‌دهد بررسی یک منحنی قرار می‌گیرد چون دبی در کانال ثابت است.

★ جوابی از منحنی قابل قبول است که به $y_1$ نزدیک‌تر باشد.

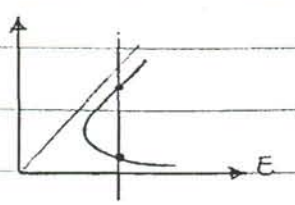



★ این منحنی قابل قبول نیست چون اگر از منحنی دبی ثابت خارج شویم یعنی اینکه دبی در طول کانال تغییر می‌کند که قابل قبول نیست.

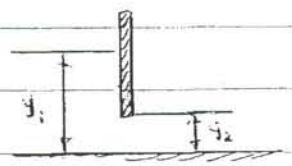
★ اگر $E_2 < E_c$ باشد، آب انرژی مانع عبور می‌کند و بازهایی که انرژی لازم را ندارند نمی‌توانند جریان پیدا کنند.

اعداد مناسب:

✗ به دو عدد دارای یک مقدار انرژی مخصوص گفته می‌شود.



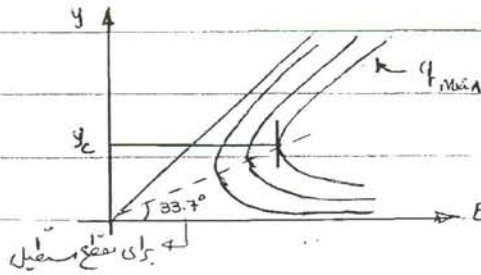

www.tmar.ir




★ مثالی از اعماق متناوب ، اعماق قبل و بعد از یک دریچه است.

$H_1 = H_2$

$Z_1 + E_1 = Z_2 + E_2 \Rightarrow E_1 = E_2$




○ عمق بحرانی بستر بی را برای انرژی مخصوص ثابت می دهد.

$E = y + \frac{q^2}{2gy^2}$

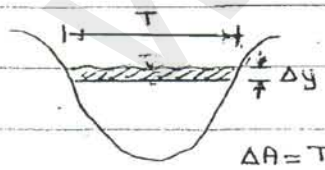
○ عمق بحرانی به ازای دبی ثابت حداقل انرژی مخصوص را دارد.

(دبی H ثابت) $H = Z + E \Rightarrow -\Delta Z = \Delta E = E_2 - E_1$

$\Rightarrow E_2 = E_1 - \Delta Z$

$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{q^2}{gy^3} = 1 - F_r^2$

حالت عمومی $E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3}\frac{dA}{dy}$




$\Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2 T}{gA^3} = 1 - \frac{V^2}{g\frac{A}{T}}$

$\Delta A = T\Delta y \Rightarrow \frac{dA}{dy} = T$

$\Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{V^2}{gD} = 1 - F_r^2$

$\frac{dE}{dy} = 0 \Rightarrow F_r = 1 \ , \ y = y_c$ جریان بحرانی

★ با افزایش عمق ، $A\sqrt{D}$ به صورت یکنواخت افزایش می یابد در نتیجه عدد فرود کاهش می یابد.

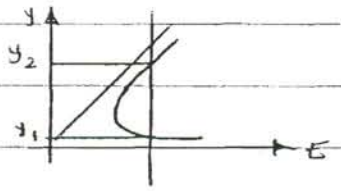
عدد فرود $F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{Q}{\sqrt{g}\frac{A\sqrt{D}}{Z}}$



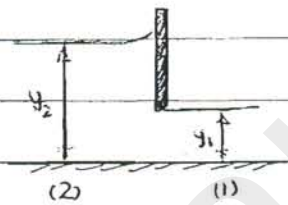
www.tmar.ir

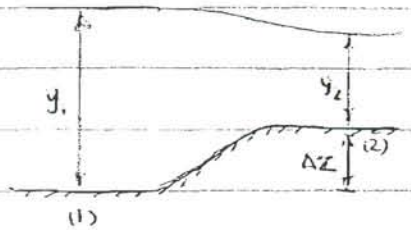
◄ اعماق مساوب :

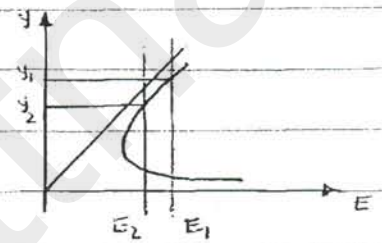
E ثابت : دو عمق
- فوق بحرانی : $F_r > 1$ ، $y < y_c$
- زیر بحرانی : $F_r < 1$ ، $y > y_c$




★ کانال افقی بدون تلفات انرژی (حل و بعد دریکه)




$$E_2 = E_1 - \Delta z$$

★ اگر در ساده زیر بحرانی باشیم، در اثر بالا آمدن کف، انرژی مخصوص کم می‌شود و عمق کاهش می‌یابد.

$$H = z + E \quad \left(E = y + \frac{V^2}{2g}\right)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dx} \Rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dy}\frac{dy}{dx}$$

فرض : عدم تلفات انرژی

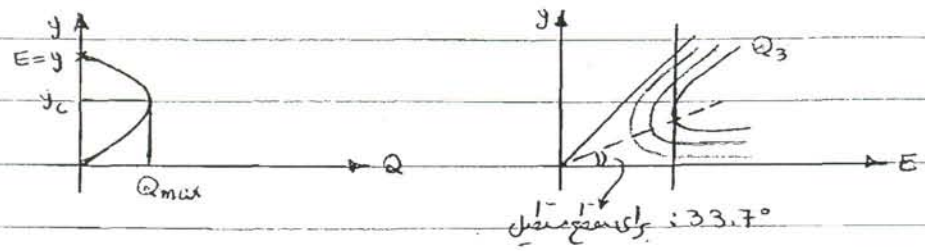
$$0 = \frac{dz}{dx} + (1 - F_r^2)\frac{dy}{dx}$$

◄ تغییرات Q با فرض E ثابت :

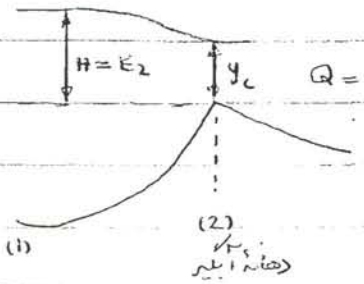
$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \Rightarrow E - y = \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{2gA^2(E-y)}$$

www.tpar.ir




◄ برای خط E ثابت در نمودار مخصوص راست، $Q_3$ حال $Q_{max}$ در نمودار مخصوص چپ است.



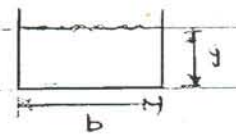

◄ در بالادست آبشار در پایین، در مقطع (2) انرژی مخصوص ثابت است. $(E_2 = H)$

• فرضیات ۱۲ آبشار در پایین ثابت باشد.
۱۲ تلفات انرژی نداشته باشیم.
۱۳ سرعت در پایین صفر باشد.

روابط خاص مقطع مستطیل:

$A = by \quad , \quad D = y \quad , \quad T = b$

پیرامون مرطوب $P = b + 2y$




$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{by}{b+2y}$$

★ در مقطع مستطیل عمیق باشد: $R \rightarrow y$

دبی در واحد عرض $q = \frac{Q}{b}$ ، $F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{q}{y\sqrt{gy}} \Rightarrow F_r = \frac{q}{\sqrt{gy^3}}$

$F_r = 1 \; : \; y = y_c \Rightarrow 1 = \frac{q}{\sqrt{gy_c^3}} \Rightarrow \boxed{y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}}$

★ رابطه کنترل (در مقطعی مطرح است که به ازای دبی مشخص، عمق مشخص داریم)

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow E_c = y_c + \frac{V_c^2}{2g} = y_c + \frac{gy_c}{2g}$$

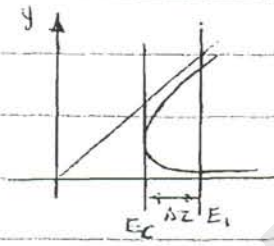
$$\Rightarrow E_c = \frac{3}{2} y_c \Rightarrow \boxed{y_c = \frac{2}{3} E_c}$$ رابطه کمکی

◄ مکان هندسی $y_c$ برای مقطع مستطیل به ازای دبی‌های مختلف، خطی است با شیب $\arctg(\frac{2}{3}) \leftarrow 33.7^\circ$.

$$q_{max} = \sqrt{g y_c^3} = \sqrt{g(\frac{2}{3}E)^3} \Rightarrow \boxed{Q_{max} = b\sqrt{g(\frac{2}{3}E)^3}}$$

◄ مقدار دبی عبوری در واحد عرض برای مقطع مستطیل

◄ انسداد




$\Delta z_{max}$ : حداکثر میزان بالا آمدن کف به‌نوعی که آب بالادست مانع نشود.

$$(\Delta z)_{max} = (\Delta z)_c$$

$$(\Delta z)_{max} = E_1 - E_c$$

$$b, Q \text{ معلوم} \Rightarrow q = \frac{Q}{b} \quad , \quad y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$E_c = \frac{3}{2} y_c \quad , \quad E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

مثال) کانال مستطیلی با مشخصات زیر داریم

$$y_1 = 2\,m \quad , \quad V_1 = 2.2\ m/s \quad , \quad \Delta z = +0.25\ m$$

تلفات انرژی ناچیز و عرض کانال ثابت است. مقدار $y_2$ را بدست آورید.

◄ چون سهم $\frac{V_1^2}{2g}$ در $E$ بسیار کم است $E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 2.246\ m$

بنابراین جریان زیر بحرانی می‌باشد. (در جریان بحرانی $\frac{V_1^2}{2g} = \frac{y_c}{2}$)

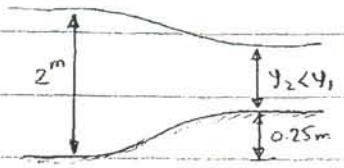
www.ttrac.ir

15

$q = V_1 y_1 = 4.4 \ m^2/s \ (m^3/s.m)$

$y_c = \sqrt[3]{\frac{(4.4)^2}{g}} = 1.25 \ m < y_1 \Rightarrow$ جریان زیربحرانی

$E_2 = E_1 - \Delta z \Rightarrow E_2 = 2.246 - 0.25 = 1.996 \ m$




$$E_2 = y_2 + \frac{q^2}{2g y_2^2}$$

$$1.996 = y_2 + \frac{(4.4)^2}{(19.62) y_2^2}$$

$A = X + \frac{B}{X_2}$ ← جواب‌ها $X_1 > y_c$ ، $X_2 < y_c$ ، $X_3 < 0$

جواب‌های معادله عبارتند از:

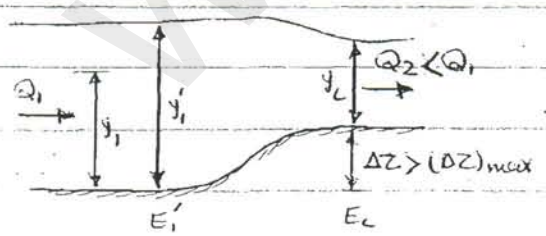
$y_2 = 1.63 \ m$ ، $y_2 = 0.99 \ m$

$E_c = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2}(1.25) = 1.875 \ m$

$(\Delta z)_{max} = E_1 - E_c = 2.246 - 1.875 > 0.25$

← پدیده انسداد رخ می‌دهد.

اگر $\Delta z > (\Delta z)_{max}$ باشد، پدیده انسداد رخ می‌دهد. (فقط برای حالت زیربحرانی بررسی می‌کنیم)




$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$\frac{\partial Q}{\partial x}$ ← منفی ، $\frac{\partial A}{\partial t}$ ← مثبت

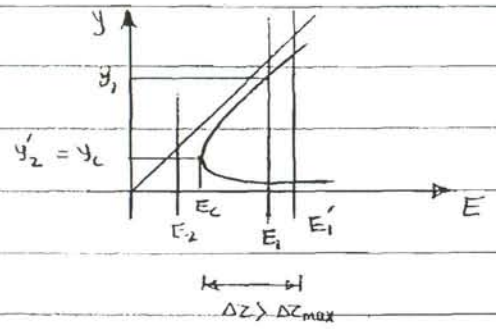
$\Delta z > (\Delta z)_{max} \Rightarrow \boxed{y_2 = y_c}$

$\boxed{E_1' = E_c + \Delta z}$

$E_1' = y_1' + \frac{q^2}{2g y_1'^2}$ ← حاصل معادله، مقدار $y_1'$ بدست می‌آید.

www.ttnar.ir

اگر در مثال قبل $\Delta z = 0.5\,m$ باشد چه داریم؟




$E_1 = 2.246\ m$

$E_c = 1.875\ m$

$E_2 = 2.246 - 0.5 = 1.746 < E_c$

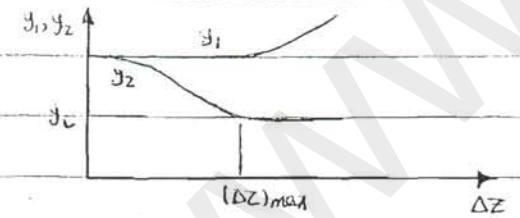
$\Delta z > (\Delta z)_{max}$

پرش انرژی پایین‌دست رخ می‌دهد. $(E_2 < E_c)$

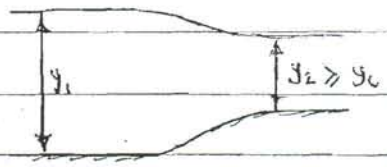
$y_2 = y_c = 1.25\ m$ , $E_1' = E_c + \Delta z = 1.875 + 0.5 = 2.375\ m$

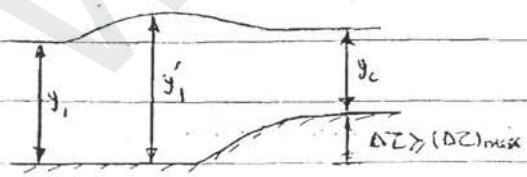
$$E_1' = y_1' + \frac{q^2}{2g y_1'^2} \Rightarrow 2.375 = y_1' + \frac{(4.4)^2}{2g\, y_1'^2}$$

$y_1' > y_c \Rightarrow \boxed{y_1' = 2.160\ m}$



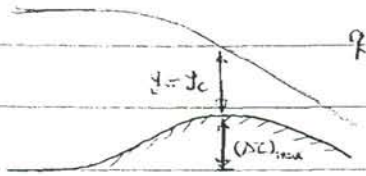

$(\Delta z)_{max} = E_1 - E_{min}$




همیشه $y_c$ زمانی رخ می‌دهد که پس‌زدگی داشته باشیم بلکه بالاترین تنه به اندازه $(\Delta z)_{max}$ باعث می‌شود که عمق جریان برابر $y_c$ باشد.

$q = \sqrt{g y_c^3}$




www.ittnar.ir

مثال) در یک کانال مستطیلی با عرض 3m و عمق اولیه 1.2m، دبی 6 m³/s جریان دارد. مطلوبست کاهش عمق ثانویه در حالت الف) ΔZ=0.15m و ب) ΔZ=0.35m

الف) $q = \frac{Q}{b} = \frac{6}{3} = 2 \ m^2/s$

$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 0.742 \ m$ , $E_{min} = E_c = 1.5 \, y_c = 1.112 \ m$

$E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2g y_1^2} = 1.342 \ m$

$(\Delta Z)_{max} = E_1 - E_{min} = 0.23 \ m \Rightarrow \Delta Z = 0.15 < 0.23$

پس پرش رخ می دهد ✓

$E_2 = E_1 - \Delta Z = 1.192 \ m$

$E_2 = 1.192 = y_2 + \frac{q^2}{2g y_2^2} \Rightarrow 1.192 = y_2 + \frac{2^2}{19.62 \, y_2^2}$

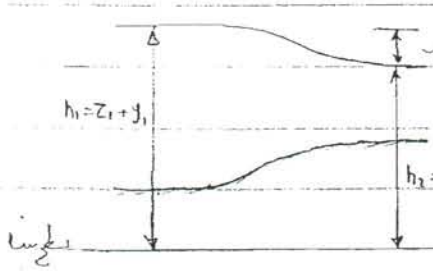
با توجه به نوع جواب عبارت $\begin{cases} y_2 = 0.979 \ m \ \checkmark \\ y_2 = 0.575 \end{cases}$ جواب

ب) $\Delta Z = 0.35 \ m \Rightarrow \Delta Z > (\Delta Z)_{max}$ پس پرش رخ نمی دهد

$y_2 = y_c = 0.742 \ m$ ✓

$E_1' = E_c + \Delta Z = 1.112 + 0.35 = 1.462$

$1.462 = y_1' + \frac{q^2}{2g y_1'^2} \Rightarrow \begin{cases} y_1' = 1.35 \ m \ \checkmark \\ y_1' = 0.449 \ m \end{cases}$

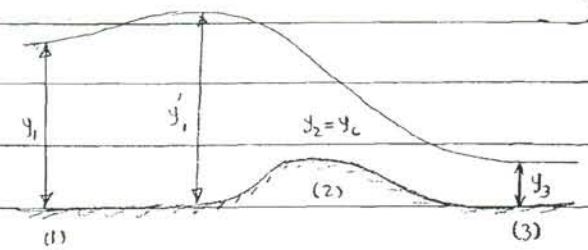



گاهی به جای تغییرات عمق، تغییرات تراز سطح آب را بدست می آوریم.



www.itnar.ir

اگر تراز کف در (1) و (3) برابر باشد و تلفات انرژی نداشته باشیم:




$E_1 = E_3 = 1.462$ m

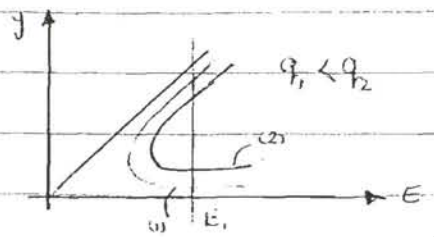
$\hookrightarrow y_3 = 0.449$ m

$y_1 = 1.350$ m

## تغییرات عمق ناشی از تغییرات عرض

فرضیات: ۱) بدون تلفات انرژی

۲) تغییرات تراز کف نداریم




$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

ثابت $Q \rightarrow A_2 < A_1$

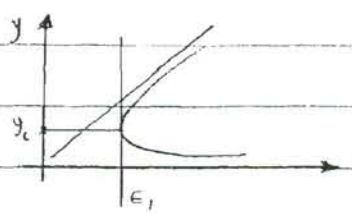
$Q = bq$ ← با کاهش عرض، دبی در واحد عرض افزایش می‌یابد

★ چون تغییرات تراز کف نداریم، مقدار انرژی مخصوص ثابت می‌ماند. بنابراین در جریان زیربحرانی با کاهش عرض، عمق کاهش می‌یابد و در جریان فوق بحرانی با کاهش عرض، عمق افزایش می‌یابد.

مثال: کانال مستطیلی با مشخصات زیر مفروض است.

$b_1 = 30$ m ، $Q = 90$ m$^3$/s ، $y_1 = 2.5$ m

حداقل چقدر می‌توان عرض را کاهش داد تا دبی ثابت باقی بماند؟ $(y_2 = y_c)$

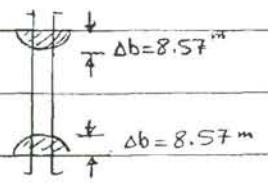



$$E_1 = y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = 2.573 \text{ m}$$

$$y_c = \frac{2}{3} E_1 = 1.710 \text{ m}$$

www.tnar.ir

$$q_{max} = \sqrt{g y_c^3} \Rightarrow q_{max} = 7 \ m^2/s$$




$$b_2 = \frac{Q}{q_{max}} = 12.85 \ m$$

مثال 2) کانال مستطیلی با تغییرات کم عرض است.

$b_1 = 1.5 \ m$ ، $b_2 = 3 \ m$ ، $y_1 = 1.5 \ m$ ، $V_1 = 2 \ m/s$

تغییرات عمق ($y_2$ ناشی از تغییرات عرض) را بدست آورید.

$$Q = b_1 y_1 V_1 = 4.5 \ m^3/s \quad , \quad q_1 = y_1 V_1 = 3 \ m^2/s$$

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 1.704 \ m \Rightarrow E_2 = E_1 = 1.704 \ m$$

$$E_2 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{q_2^2}{2g y_2^2} \quad , \quad q_2 = \frac{Q}{b_2} = 1.5 \ m^2/s$$

$$\Rightarrow 1.704 = y_2 + \frac{(1.5)^2}{19.62 y_2^2} \Rightarrow \begin{cases} y_2 = 1.663 \ m \ \checkmark & \text{زیر بحرانی} \\ y_2 = - \end{cases}$$

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx}\left(\frac{q^2}{2gy^2}\right)$$

$$\Rightarrow 0 = \frac{dy}{dx} + \frac{q}{gy^2}\frac{dq}{dx} - \frac{q^2}{gy^3}\frac{dy}{dx}$$

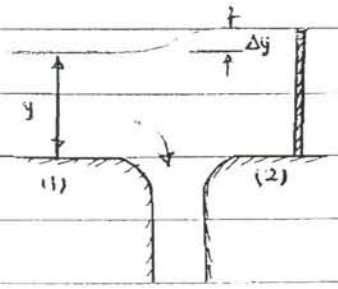
$$\Rightarrow \boxed{0 = \frac{dy}{dx}(1 - Fr^2) + \frac{q}{gy^2}\frac{dq}{dx}} \quad \left(\frac{q}{gy^2} \text{ همواره مثبت}\right)$$

کم شدن عرض $\Rightarrow \frac{dq}{dx} > 0 \Rightarrow \frac{dy}{dx}(1 - Fr^2)$

- جریان فوق بحرانی: $\frac{dy}{dx} < 0$
- جریان زیر بحرانی: $\frac{dy}{dx} > 0$

www.ttnar.ir

مثال ۱-۱۱)




الف) رابطهٔ انرژی

$$y + \frac{V^2}{2g} = (y + \Delta y) + 0$$

$$\Rightarrow \Delta y = \frac{V^2}{2g}$$

ب) رابطهٔ اندازه حرکت

$$\Sigma F = \Delta(\rho Q V)$$

$$\gamma A_1 \bar{y}_1 - \gamma A_2 \bar{y}_2 = \rho(Q_2 V_2^{\circ} - Q_1 V_1)$$

$$\Rightarrow \Delta y = \frac{V^2}{g}$$

طول کم ← افت اصطکاک قابل اغماض است.

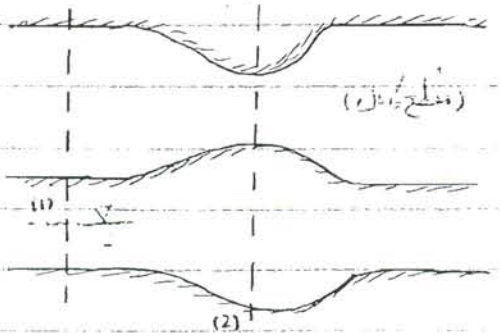
شعاع هندسی زیاد ← افت موضعی نداریم.

⟸ استفاده از رابطهٔ انرژی مناسب‌تر است.

- برداهای تیزی که وارد کانال تائم می‌شوند دارای زاویهٔ افقی می‌شوند و زاویهٔ آنها مشخص نیست که ما آن را در نظر نگرفته‌ایم. در نتیجه استفاده از رابطهٔ اندازه حرکت نامناسب است.

- همین که افت انرژی قابل صرف نظر شده می‌گیریم از این رابطه استفاده می‌کنیم.

◄ تغییرات هم‌زمان عرض و ارتفاع کف




عدم تلفات انرژی

$$H_1 = H_2$$

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

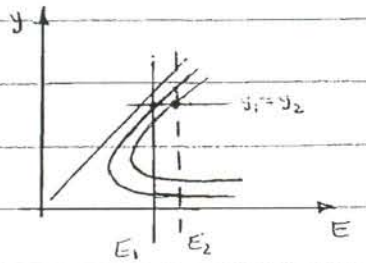
$$y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = \Delta z + y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

www.tinar.ir

$$\Rightarrow y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = \Delta z + y_2 + \frac{q_2^2}{2gy_2^2}$$

* این معادله مناسب است چون ترازف پایین رفته $\Delta z = z_2 - z_1$

$$q_1 = \frac{Q_1}{b_1} \quad , \quad q_2 = \frac{Q_2}{b_2}$$




• احتمال دارد که $y_2$ همان عمق اولیه باشد.
چون ما پایین رفتیم کف، $E_2$ افزایش یافته و با کاهش عرض، دبی زیاد شده و منحنی E-y آن تغییر می‌کند.

• جریان زیربحرانی

کاهش عرض (افزایش q) ← کاهش عمق

پایین رفتن ترازف ← افزایش عمق

* پس رفتن می‌تواند هم ناشی از $\Delta z$ باشد و هم تغییرات عرض.

مثال) کانال مستطیلی با مشخصات زیر داریم:

$b_1 = 3.5\ m$ ، $y_1 = 1.69\ m$ ، عدم تلفات انرژی ، $Q = 15\ m^3/s$

$\Delta z = 0.2\ m$ ——— $\Delta b$ چقدر باشد تا $(y_1 = y_2)$ تغییر عمق نداشته باشیم؟

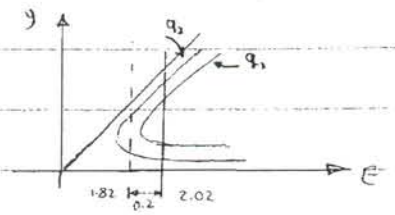
$$q_1 = \frac{15}{3.5} = 4.285\ m^3/s.m \quad , \quad y_c = \sqrt[3]{\frac{q_1^2}{g}} = 1.23\ m$$

• در مقطع (1) جریان زیربحرانی داریم.

$$E_{min} = 1.5\, y_c = 1.847\ m$$

$$E_1 = y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = 2.02\ m \quad , \quad E_2 = E_1 - \Delta z = 1.82 < E_{min}$$

← اگر عرض را تغییر ندهیم، پس رفتن رخ می‌دهد.






www.ttnar.ir

$$E_2 = y_1 + \frac{q_2^2}{2g y_1^2} \Rightarrow 1.82 = 1.69 + \frac{q_2^2}{2g(1.69)^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{q_2 = 2.7 \ m^3/s}$$

$$b_2 = \frac{Q}{q_2} = 5.55 \ m \rightarrow \boxed{\Delta b = b_2 - b_1 = 2.05 \ m}$$

## تلفات انرژی

بنظور از اینکه می‌گوییم تلفات انرژی داریم این است که تغییرات به صورت تدریجی انجام می‌شود

$H_1 = H_2$

$H_1 \neq H_2$ , $H_1 = H_2 + h_f$

$$H_1 = H_2 + \underbrace{h_{tt}}_{\text{افت موضعی}} \Rightarrow z_1 + E_1 = z_2 + E_2 + h_{tt}$$

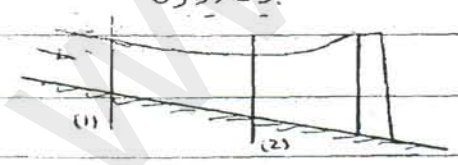
$$\Rightarrow E_1 - \Delta z = E_2 + h_{tt}$$

$$\Rightarrow E_2 = E_1 - \Delta z - h_{tt}$$

$$\left( h_{tt} = K \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

تلفات انرژی ناشی از تلفات سطح از بالادست ترازلف می‌باشد

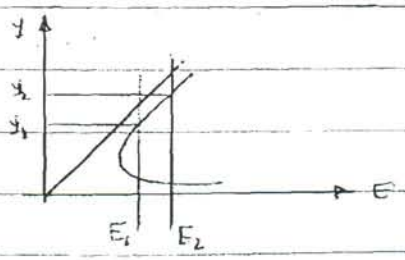
جریان زیربحرانی




$$H_1 = H_2 + h_f$$

$$z_1 + E_1 = z_2 + E_2 + h_f$$

$$E_1 - E_2 = \underbrace{\Delta z}_{-ve} + \underbrace{h_f}_{+ve}$$




$$|\Delta z| > |\Delta E| \Rightarrow \boxed{E_2 > E_1}$$

$$H = z + E$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dx}$$

$$\Rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dy}\frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + (1 - F_r^2)\frac{dy}{dx}$$

www.ttnar.ir

23

$$\Rightarrow \frac{dH}{dx}\ \frac{dz}{dx} = +ve \qquad \left(\frac{dH}{dx} = -S_f\ ,\ \frac{dz}{dx} = -S_o\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{S_o - S_f = (1-F_r^2)\frac{dy}{dx}}$$

$S_o$ : شیب کف

$S_f$ : شیب اصطکاک (شیب خط انرژی)

◄ عمق بحرانی :

جریان بحرانی : مقطع کنترل $\quad Q \leftrightarrow y_c$

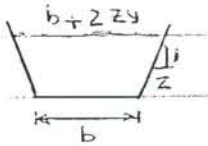
$$\boxed{q = \sqrt{g y_c^3}}$$

$$F_r = 1 \Rightarrow V = \sqrt{gD}\ ,\quad Q = VA = \underbrace{A\sqrt{D}}_{z}\sqrt{g}$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{\sqrt{g}} = A_c\sqrt{D_c} = f(y_c\ ,\ \text{شکل هندسی مقطع})$$

مقطع دوزنقه : $A : (b+zy)y$

$T : b+2zy$

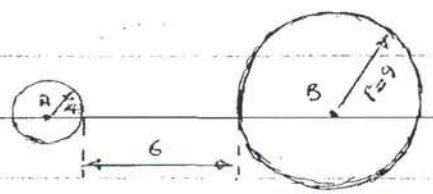



$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = (b+zy)y\sqrt{\frac{(b+zy)y}{b+2zy}}$$

مقطع سهمی : $y_c = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{gz^2}}$

• مثال

(1_15




$t_1$ : زمان حرکت سیال از نقطه O به نقطه B

$t_2$ : " " " " " " A

$(t_1 > t_2)$

$$c = \sqrt{gD} \simeq \sqrt{gy}$$

www.itnar.ir

$OA = Vt_2$ , $OB = Vt_1$ , $AB = 19 = V(t_1 - t_2)$

$$\left.\begin{array}{l} 4 = Ct_2 \\ 9 = Ct_1 \end{array}\right\} \Rightarrow 5 = C(t_1 - t_2) \left.\begin{array}{l} \\ 19 = V(t_1 - t_2) \end{array}\right\} \rightarrow \frac{V}{C} = \frac{19}{5} = 3.8$$

جریان فوق بحرانی

ب: سرعت حرکت موج نسبی نسبت به آب ساکن

2-1) سیال ایدئال - شیب غیرصفر

سیال ایدئال $\Rightarrow H_1 = H_2$

$$z_1 + \left(y_1 + \frac{Q_1^2}{2gA_1^2}\right) = z_2 + \left(\frac{Q_2^2}{2gA_2^2} + y_2\right)$$

* جریان یکنواخت $\leftarrow$ $y$ ، $A$ ، $V$ ثابت

◄ چون شیب غیرصفر است بنابراین برای برقراری تساوی باید $\left(y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2}\right)$ باشد درنتیجه جریان یکنواخت نخواهد بود.

3-1) سیال واقعی - شیب صفر

$$H_1 \neq H_2 \Rightarrow H_1 = H_2 + h_f$$

$$\Rightarrow \cancel{z_1} + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = \cancel{z_2} + y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + h_f$$

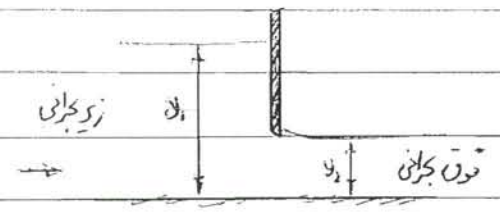
$$\Sigma F = \rho Q(V_2 - V_1) \Rightarrow F_{P_1} - F_{P_2} - F_f = \rho Q(V_2 - V_1)$$

$$\gamma A_1 \bar{y}_1 - \gamma A_2 \bar{y}_2 - F_f = \rho\left(\frac{Q^2}{A_2} - \frac{Q^2}{A_1}\right)$$

$$\Rightarrow \left(\gamma A_1 \bar{y}_1 + \frac{\rho Q^2}{A_1}\right) - \left(\gamma A_2 \bar{y}_2 + \frac{\rho Q^2}{A_2}\right) = F_f$$

◄ چون هردو جمله تابعی از $y$ است بنابراین $y$ باید تغییر کند با اعمال $F_f$ لذا درنتیجه جریان غیریکنواخت است.

www.ttnar.ir




نسبت صفر + بدون تلفات ⇐ E ثابت

$y_1$ و $y_2$ اعماق مساوب

زیر بحرانی — فوق بحرانی

پایین دست — Down Stream

بالادست — Up Stream

★ پرش در فواصل کوتاه می‌توان از تلفات انرژی صرف نظر کرد.

## فصل سوم: اصل اندازه حرکت در کانال‌های باز و کاربرد آن

رابطه اندازه حرکت: $\Sigma F = \rho Q (V_2 - V_1) = \Delta(\rho Q V)$

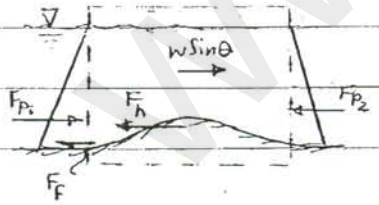
(تغییر اندازه حرکت ، شار اندازه حرکت)

★ نیروهای وارد به یک حجم کنترل باعث تغییر شار اندازه حرکت می‌شوند

• انواع نیروها

۱- پدنه‌ای: وزن $W \sin\theta$

۲- سطحی: فشار، اصطکاک، نیروی وارد به مانع




$F_P = \gamma \bar{y} A$

برای سطح مستطیل: $\bar{y} = \frac{y}{2}$ ، $A = by$

$\Rightarrow F_P = b\gamma \frac{y^2}{2}$

(نیروی فشار ← $F_P$ × سطح)

$\Sigma F = \Delta(\rho Q V)$

$F_{P_1} - F_{P_2} + W\sin\theta - F_f - F_h = \rho Q (V_2 - V_1) = \rho Q \left(\frac{Q}{A_2} - \frac{Q}{A_1}\right)$

$\Rightarrow \gamma A_1 \bar{y}_1 - \gamma A_2 \bar{y}_2 + \rho \frac{Q^2}{A_1} - \rho \frac{Q^2}{A_2} = \underbrace{F_f + F_h - W\sin\theta}_{F_{ext}}$



www.itnar.ir

$$\gamma\left(A_1\bar{y}_1 + \frac{Q^2}{gA_1}\right) - \gamma\left(A_2\bar{y}_2 + \frac{Q^2}{gA_2}\right) = W\sin\theta + F_f + F_h$$

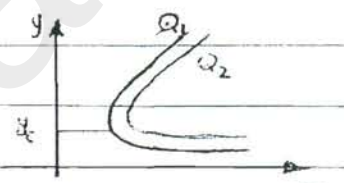
◄ می‌توانیم ضریب تصحیح $\beta$ را در معادلات وارد کنیم:

$$\gamma\left(A_2\bar{y}_2 + \beta_2\frac{Q^2}{gA_2}\right) - \gamma\left(A_1\bar{y}_1 + \beta_1\frac{Q^2}{gA_1}\right) = -F_{ext}$$

$$M_2 - M_1 = \frac{F_{ext}}{\gamma} \qquad \left(M = A\bar{y} + \frac{Q^2}{gA}\right)$$

تابع اندازه حرکت (نیروی کنترل) سه نیروی واحد وزن

$$F = A\bar{y} + \frac{Q^2}{gA} \Rightarrow \boxed{F_2 - F_1 = \frac{F_{ext}}{\gamma}}$$




$Q_2 > Q_1$

برای سطح مستطیل: $F = by\frac{y}{2} + \frac{b^2q^2}{gby}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{F}{b} = \frac{y^2}{2} + \frac{q^2}{gy}}$$

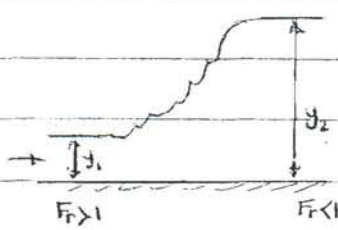
$$\frac{dF}{dy} = 0 \Rightarrow F_r = 1 \;,\; y = y_c$$

$F_{ext} = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \rightsquigarrow$ اعماق مزدوج $y_1, y_2$

$y_c > y_1 \rightarrow$ عمق فوق بحرانی

$y_c < y_2 \rightarrow$ عمق زیر بحرانی

◄ پرش هیدرولیکی زمانی رخ می‌دهد که جریان فوق بحرانی می‌خواهد جریان زیر بحرانی تبدیل شود.

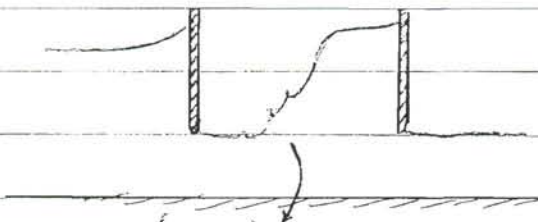



پرش هیدرولیکی (Hydraulic Jump)

www.tiran.ir

◄ مثالی برای اعماق مزدوج ، عمق های قبل و بعد از پرش هیدرولیکی است .

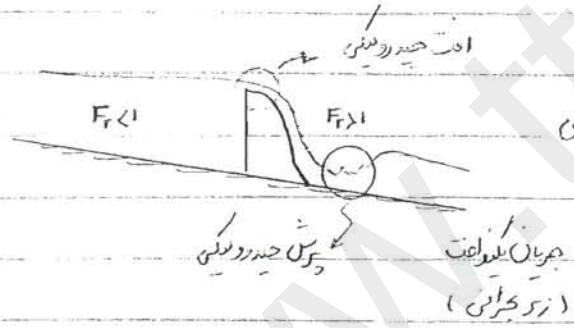
○ پرش هیدرولیکی ← تبدیل جریان فوق بحرانی به جریان زیربحرانی



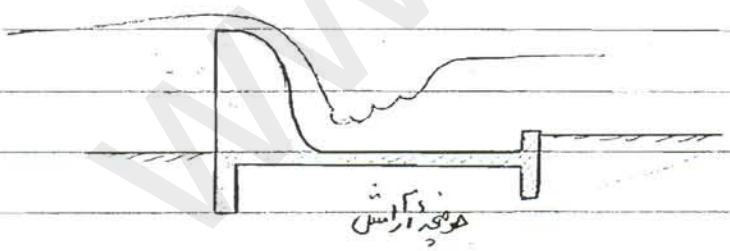

★ وقتی دو دریچه در کانال داریم بین این دو دریچه پرش هیدرولیکی رخ می دهد.

این امر باعث هدر رفتن انرژی می شود.

○ افت هیدرولیکی




★ افت هیدرولیکی هنگام تبدیل جریان زیربحرانی به جریان فوق بحرانی رخ می دهد.




◄ وقتی می خواهیم پرش هیدرولیکی فقط در یک محدوده خاص رخ دهد، از حوضچه آرامش استفاده می کنیم.

★ درصد تلفات انرژی در پرش هیدرولیکی معمولاً 60 تا 70 درصد است.

○ فرضیات :
1- شیب صفر
2- کانال مستطیلی
3- عرض ثابت
4- مانع نداریم
5- $F_f = 0$

فرض ۱، ۴، ۵ $\Rightarrow$ $F_{ext} = 0$ $\Rightarrow$ $F_1 = F_2$

$$\Rightarrow \frac{y_1^2}{2} + \frac{q^2}{g y_1} = \frac{y_2^2}{2} + \frac{q^2}{g y_2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_{r_1}^2} - 1\right)}$$ رابطه اعماق مزدوج

• صورت دیگر رابطه بالا عبارت است از:

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

• میزان تلفات انرژی در پدیده پرش هیدرولیکی:

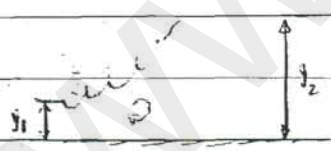
$$\boxed{(\Delta E)_j = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2}}$$

در مقطع منشوری: $\frac{F_1}{b} = \frac{F_2}{b} \Rightarrow \frac{q^2}{g y_1} + \frac{y_1^2}{2} = \frac{q^2}{g y_2} + \frac{y_2^2}{2}$

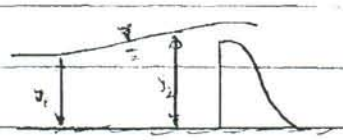
$$\frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2}\right) = \frac{1}{2}(y_2^2 - y_1^2) \Rightarrow \frac{q^2}{g}\left(\frac{y_2 - y_1}{y_1 y_2}\right) = \frac{1}{2}(y_2 + y_1)(y_2 - y_1)$$

$$\frac{q^2}{g y_1 y_2} = \frac{y_2 + y_1}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_{r_1}^2} - 1\right)}$$

$$\left(F_{r_1}^2 = \frac{q^2}{g y_1^3}\right)$$




* زمانی نیروی وزن بر دیگر نیروهای مقاوم غلبه داشته باشد، نیروی خصوص یا تابع اندازه حرکت در جهت جریان افزایش می‌یابد.




$W \sin\theta > F_f$

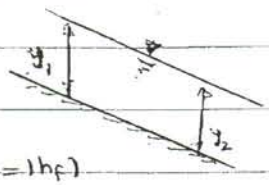
$F_r < 1$

* چون که با عبور عمیق $E$ می‌شود، نیروها دخیل نیستند بالاتر از آن نیروی گرانش.

www.ttnar.ir

مقایسه $E_y$ و $F_y$

۱) $y_1 = y_2$ جریان کندرافت

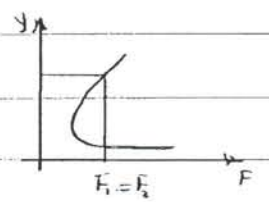


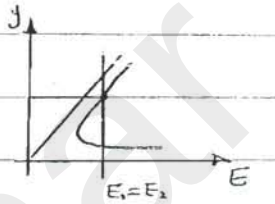

$|\Delta z| = |h_f|$

* در این حالت سیال باید حتماً واقعی باشد چون در سیال ایده‌آل جریان کندرافت نخواهد شد.

$E_1 = E_2$

$E = y + \frac{q^2}{2gy^2}$

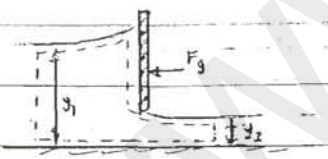


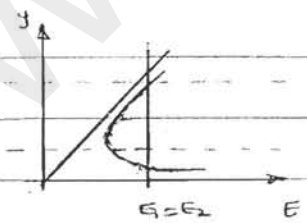



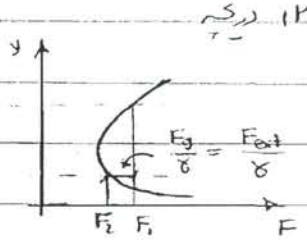

* در جریان کندرافت، $F_{ext} = 0$ خواهد بود. (چون $E_1 = E_2$)

$F = \frac{Q^2}{gA} + A\bar{y}$ ; $F = b\left(\frac{q^2}{gy} + \frac{y^2}{2}\right)$

۲) دریچه



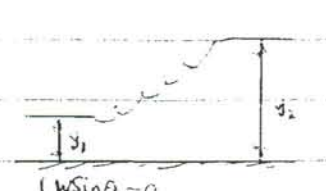

$W\sin\theta = F_F = 0$

$F_{ext} \neq 0 \Rightarrow F_{ext} = F_g$

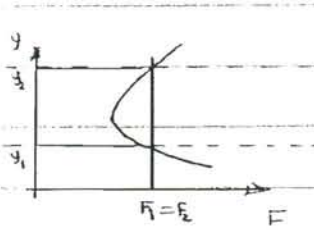
$\begin{cases} \Delta z = 0 \\ h_f = 0 \end{cases}$

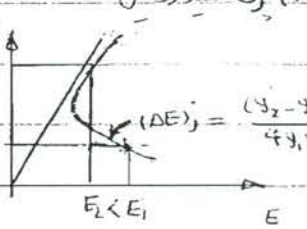
* در مواضعی کوتاه از تلفات ناشی از اصطکاک صرف نظر می‌کنیم.

۳) پرش هیدرولیکی




$\begin{cases} W\sin\theta = 0 \\ F_F = 0 \end{cases}$




www.tmar.ir

مثال 4.3) $E_1 = E_2$ ; $b = 7\ m$ , $z = 1\ m$

$Q = 10\ m^3/s$ , $y_2 = 1.5\ m$

$$E_2 = \frac{Q^2}{gA_2} + A_2 \bar{y}_2 = 9.8$$

$$9.8 = \frac{Q^2}{gA_1} + A_1 \bar{y}_1$$

در نقطه یک انتقدر 5 می‌گیریم.

$$\frac{10.194}{y_1(7+y_1)} + \frac{1}{3} y_1^3 + 3.5 y_1^2 = 9.8 \Rightarrow y_1 = 0.146\ m$$

حل از زیر $E_1 = 4.83\ m$ ; جواب $E_2 = 1.53\ m$

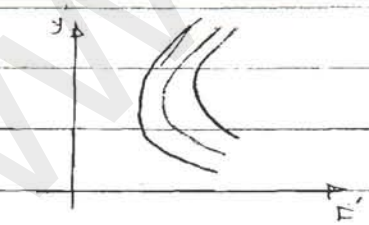
$\Rightarrow (\Delta E)_j = 3.3\ m \Rightarrow$ راندمان انرژی $= \frac{3.3}{4.83}$

برای مقطع ذوزنقه، اعدادی بعد بی‌بعد تعریف شده‌اند.

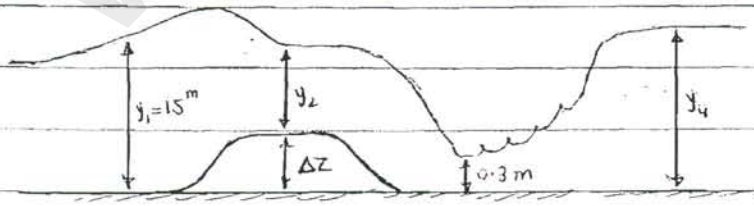
$$F' = \frac{z^2 F}{b^3}$$

$$Q' = \frac{z^3 Q^2}{g b^5}$$

$$y' = \frac{z y}{b}$$



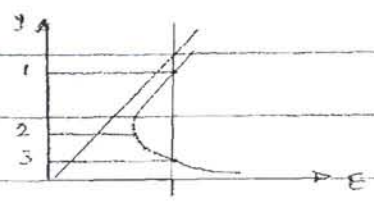

مثال 3-8) کانال شیبدار است و مقطع مستطیلی می‌باشد.




$\Delta z = ?$

$y_2, y_4 = ?$

$E_2 = E_c = E_{min}$




$y_1, y_3$ : اعداد سابر

$y_2, y_4$ : اعداد نوزج

www.ttnar.ir

31

$$E_1 = E_3 \Rightarrow y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_3 + \frac{q^2}{2gy_3^2} \Rightarrow q = 1.486 \ m^3/s.m$$

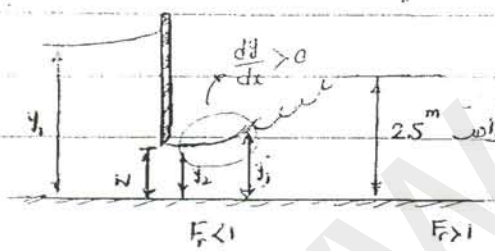
$$y_c = y_2 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(1.486)^2}{9.81}} = 0.608 \ m \Rightarrow \boxed{y_2 = 0.608 \ m}$$

$$E_2 = 1.5 y_c \rightarrow E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} \Rightarrow \Delta z = E_1 - E_2$$

$$\frac{y_4}{y_3} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8F_3^2} - 1\right) \Rightarrow \boxed{y_4 = 1.084 \ m}$$

◁ گونه تغییرات انرژی مخصوص در نیروی مخصوص از مقطع 1 تا 4 را باید بررسی کنیم.

مثال 3-9) اثبات دفع پرش (در حالت کلی)




۱- در یک مقطع (قبل از پرش) جریان فوق بحرانی
۲- در مقطع دیگر در پایین دست (بعد از پرش) جریان زیر بحرانی
۳- اغلب پرش در کانال به وجود آید.

⇐ اگر در شرط اول هم زمان برقرار باشد پرش هیدرولیکی رخ می دهد و یا پرش مستقر.
یعنی وقتی جریان فوق بحرانی به زیر بحرانی تبدیل می شود، لزوماً پرش هیدرولیکی رخ می دهد.

عمق بلواحت ← عمق پایاب Tailwater Depth

★ در مقطعی که عمق بلواحت رخ می دهد: $\boxed{y_2 = 0.61 W}$

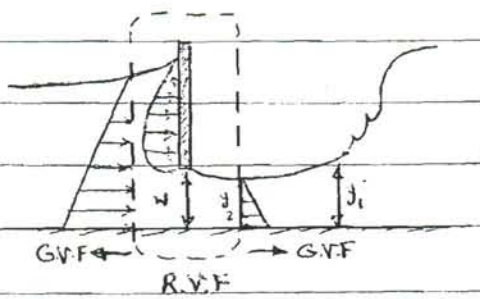
↳ مقطع ورنا Vena Contracta

◁ به دلیل وجود دریچه، جریان قبل از دریچه فوق بحرانی و بعد از دریچه زیر بحرانی است.
⇐ جریان در مقطعی قبل از پرش، فوق بحرانی است.

www.tinar.ir

$W = 0.67\ m \Rightarrow y_2 = 0.4\ m \quad (y_2 < \text{عمق پایاب})$

$y_1 = 0.443\ m > 0.4\ m$




۱- شرایط وقوع پرش

۲- وضعیت خاص جریان قبل و بعد از دریچه

۳- افزایش عمق بعد از دریچه

۴- تأثیر عمق پایاب در محل پرش

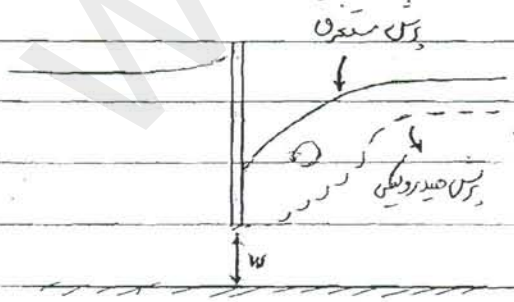
۱- شعاع سطح، توزیع فشار غیر هیدرو استاتیکی

$$y_1 = -\frac{y_3}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_3}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{gy_3}}$$

$$\Rightarrow \frac{y_1}{y_3} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_r^2} - 1\right)$$

★ اگر عمق پایاب افزایش پیدا کند، پرش به سمت بالادست حرکت می‌کند. (در شکل بالا به سمت دریچه می‌رود)

★ در عمل در رابطه پرش مشخص می‌شود که برای افزایش عمق بعد از پرش باید عمق قبل از پرش کاهش پیدا کند.

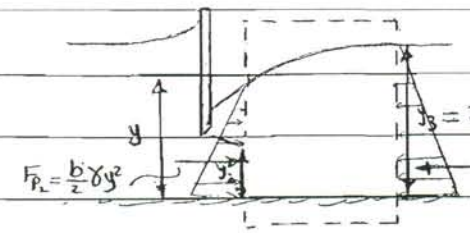



★ پرش مستغرق در صورتی اتفاق می‌افتد که عمق پایاب آنقدر افزایش پیدا می‌کند که نقطه شروع پرش به دریچه می‌چسبد.

★ در طراحی هرچه افزایش عمق پایاب تأثیر زیادی دارد.

www.tnar.ir

مثال 3_9)




$F_2 = F_3 \quad (F_{ot} = 0)$

(2) نیروی هیدرواستاتیکی مقطع $= \frac{1}{2} b\gamma y^2$

◁ در مقطع (2) از روش دوم در محاسبات استفاده می‌کنیم

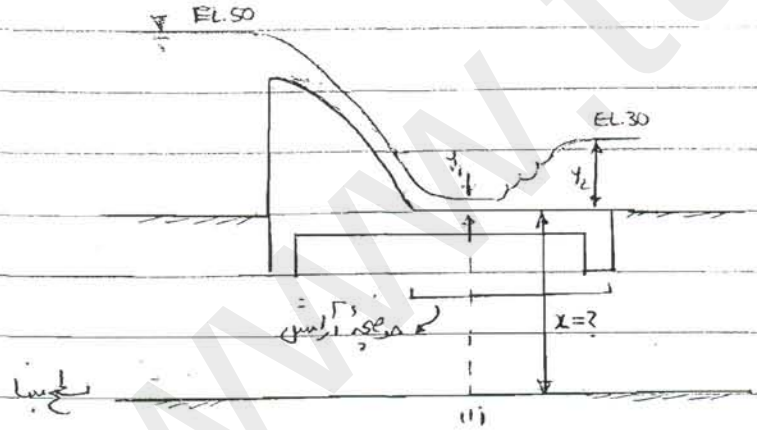
برای محاسبه نیروی هیدرواستاتیکی از عمق $y$ و برای محاسبه سرعت از عمق $y_2$ استفاده می‌کنیم.

(1) سرعت در مقطع (1): $V = \frac{q}{y_2}$ ; $\sum F = \rho Q (V_3 - V_2)$

$$\rightarrow \frac{b}{2}\gamma y^2 - \frac{b}{2}\gamma y_3^2 = \rho Q \left(\frac{Q}{b y_3} - \frac{Q}{b y_2}\right)$$

$y = 1.39$ m ←

مثال 4_9)




$(\Delta E)_j = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2}$

$H_R = z_R + y_R + \frac{V_R^2}{2g}$ (≈ 0)

$H_R = 50$ m

در داخل مخزن ←

◁ در مورد دریاچه یا مخزن سرعت را برابر صفر می‌گیریم.

$H_1 = H_R - 2 = 48$ m

↳ (2 متر در صورت سوال داده شده است)

$$48 = y_1 + \underbrace{z_1}_{x} + \frac{V_1^2}{2g}$$

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

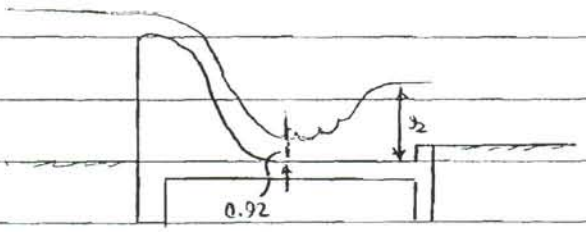
$\downarrow$

$(30 - x)$



www.ttnar.ir

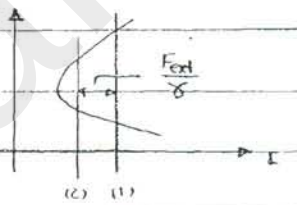
تمرین ۲-۱۰)




◄ یک پارچه بدون وجود مانع عمق بعد از پرش خواسته شده است که از رابطه عمق مزدوج قابل محاسبه است.

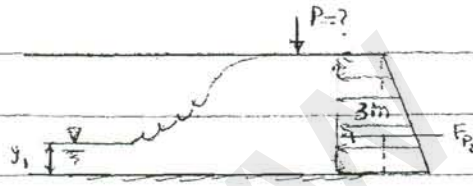
◄ در حالت دوم خواسته با وجود 26 مانع در همین آرایش عمق بعد از پرش را بدست آوریم.

$$F_2 - F_1 = \frac{F_{ext}}{\gamma}$$




نیروی وارده هر مانع $= 6.6 \Rightarrow F_{ext} = 26 \times 6.6$

تمرین ۲-۱۲)




$y_1 = 1.5$ m

$V_1 = 16$ m/s

$$\Sigma F = \rho Q (V_2 - V_1)$$

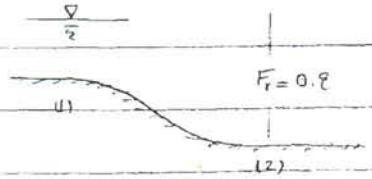
$$\Rightarrow F_{P_1} - F_{P_2} = \rho Q \left(\frac{Q}{A_2} - \frac{Q}{A_1}\right) \rightarrow \frac{b}{2}\gamma y_1^2 - F_{P_2} = \rho Q \left(\frac{Q}{3\times 3} - \frac{Q}{3\times 1.5}\right)$$

تمرین ۲-۱۱)

$b_1 = 3$ m , $V_1 = 1.5$ m/s , $y_1 = 0.9$ m $\Rightarrow Q = 4.05$ m$^3$/s

$b_2 = 2.1$ m , $H_{P_2} = 0.8$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} = 0.8 \Rightarrow \frac{Q}{A\sqrt{gy}} = 0.8 \Rightarrow Q = 0.8A\sqrt{gy}$$




$$q_2 = \frac{Q}{b_2} = 1.929 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

$$y_{c_2} = \sqrt[3]{\frac{q_2^2}{g}} = 0.729 \text{ m}$$

www.ttnar.ir

35

$E_{min} = 1.5\, y_c = 1.08\ m$

$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 1.015\ m$ ← انرژی پایین آمده، پس زمین بالا می‌رود.

$1.015 + \Delta z - 0.04\frac{V_2^2}{2g} = E_2 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$

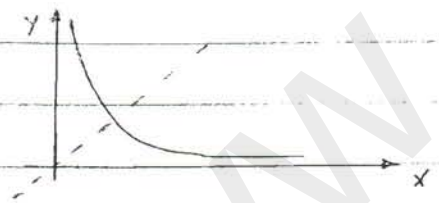
← از رابطه‌ی بدست آمده، $y_2$ را بدست می‌آوریم.

تمرین ۲-۳) اگر $y_1$ و $y_2$ اعماق مزدوج باشند و سطح مستطیلی، رابطه‌ی زیر را ثابت کنید:

$$\frac{2y_1^2 y_2^2}{(y_1+y_2)} = y_c^3$$

یعنی $\frac{y_1}{y_c}$ را برحسب $\frac{y_2}{y_c}$ بیان کنید.

$$\frac{y_1}{y_c} = x \quad , \quad \frac{y_2}{y_c} = y \quad \Rightarrow \quad x + y = 2x^2y^2$$



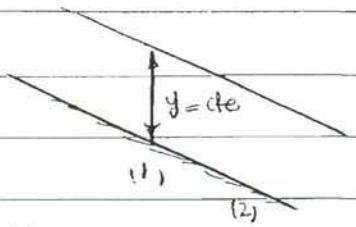

$$2x^2y^2 - y - x = 0$$

$$\Rightarrow \quad y = \frac{1+\sqrt{1+8x^3}}{4x^2}$$

← یعنی نسبت به خط $y=x$ متقارن است. با افزایش یکی از اعماق مزدوج، دیگری کاهش می‌یابد. یکی از اعماق فوق بحرانی و دیگری، زیر بحرانی است.

www.ttrar.ir

# فصل چهارم : جریان یکنواخت




• فرضیات
- دبی ثابت $\begin{cases} y_1 = y_2 \\ V_1 = V_2 \end{cases}$
- کانال طولانی
- کانال منشوری (سطح مقطع یا مکان تغییر نمی‌کند.) $\left(\frac{dy}{dx} = 0\right)$
- هیچ مانعی نداریم.

★ به دنبال حل این سؤال هستیم که عمق دبی مشخص، عمق چقدر است؟

• چون کانال طولانی است، برای سیال واقعی حتماً اصطکاک داریم. ← مقاومت جریان مطرح می‌شود.
(برای بیان اصطکاک، از روش‌های تجربی استفاده می‌کنیم.)

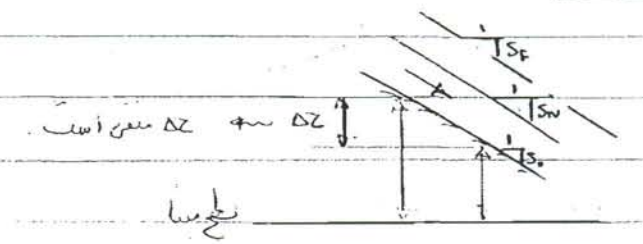
• از تعاریف جریان یکنواخت: جریان به حالت رسیده

$$\frac{F_2 - F_1}{\gamma} = F_{ext}$$

جریان یکنواخت: $F_1 = F_2 \Rightarrow F_{ext} = 0 \Rightarrow \boxed{W \sin\theta = F_f}$

$$H_1 = H_2 + h_L \Rightarrow z_1 + E_1 = z_2 + E_2 + h_L$$

جریان یکنواخت: $E_1 = E_2 \Rightarrow \Delta z + h_L = 0 \Rightarrow \boxed{h_L = -\Delta z}$

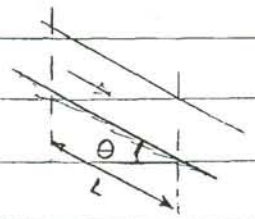



◄ انواع شیب:

| | | |
|---|---|---|
| شیب کف | $S_o = -\frac{dz}{dx}$ | ★ در جریان یکنواخت |
| شیب اصطکاک | $S_f = -\frac{dH}{dx}$ | $S_o = S_f = S_w = S$ |
| شیب سطح آب | $S_w = -\frac{dh}{dx}$ | |



www.tmar.ir



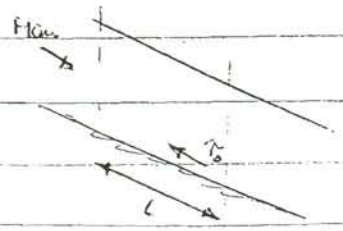
$$S_w = -\frac{dh}{dx} \quad (h = z + y)$$

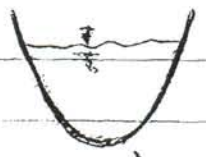
$$S_0 = -\frac{dz}{dx} = \tan\theta \simeq \sin\theta$$

چون زوایا کوچک هستند.

$$F_f = W \sin\theta \Rightarrow F_f = W S_0 \Rightarrow \gamma A L S = \tau_0 P L$$

$$\Rightarrow \tau_0 = \gamma \frac{A}{P} S = \gamma R S$$



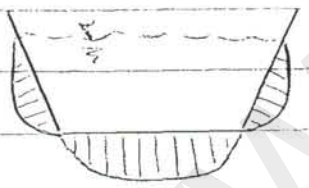



P: پیرامون مرطوب

$$\Rightarrow \boxed{\tau_0 = \gamma R S}$$

* از این رابطه برای طراحی بدنه کانال استفاده می‌کنیم.

$\tau_0$ = تنش برشی



توزیع واقعی تنش برشی

$$\tau_0 \propto \rho V^2 \Rightarrow \tau_0 = K \rho V^2$$

از آنالیز ابعادی:

ضریب بدون بعد ($K = K[\text{زبری}, Re]$)

$$\Pi_1 = \frac{\tau_0}{\rho V^2}, \quad \Pi_2 = \frac{\varepsilon}{D}, \quad \Pi_3 = \frac{VR}{\nu}$$

$$\begin{cases} \tau_0 = \gamma R S \\ \tau_0 = K \rho V^2 \end{cases} \Rightarrow \gamma R S = K \rho V^2 \Rightarrow g R S = K V^2$$

$$\Rightarrow V = \sqrt{\frac{g}{K}} \sqrt{RS}$$

$$\sqrt{\frac{g}{K}} = C \Rightarrow \boxed{\begin{aligned} V &= C\sqrt{RS} \\ Q &= VA = CA\sqrt{RS} \end{aligned}}$$

C: ضریب شزی (Chezy)

www.ttnar.ir

◀ ضریب شزی، یک ضریب بُعدی است و باید توسط آزمایش بدست آید. این ضریب، پارامتر بی بعد نیست و از جنس جذر شتاب است.

★ C در سیستم SI، BG، مقادیر است و ضریب تبدیل $\sqrt{3.28}$ می باشد.

از رابطه دارسی - ویسباخ $\rightarrow h_L = \frac{fL}{D}\frac{V^2}{2g}$

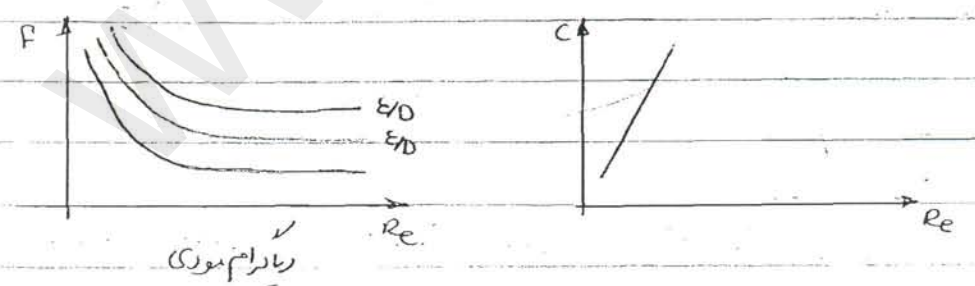
در لوله های تو پر $\rightarrow R_h = \frac{A}{P} \rightarrow R_h = \frac{D}{4}$

$$\Rightarrow \frac{h_L}{L} = \frac{f}{4R}\frac{V^2}{2g} \Rightarrow S_f = \frac{f}{4R}\frac{V^2}{2g}$$

$$\Rightarrow V^2 = \frac{8gRS}{f} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{8g}{f}}\sqrt{RS} \Rightarrow C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

↙ مشخص می نمود که ضریب شزی از جنس جذر شتاب است.

◀ یکی از دلایلی که می توانیم از دیاگرام مودی و یا رابطه کلبروک استفاده کنیم، این است که در کانال های باز، تغییرات زبری بسیار زیاد است و نمی توانیم از رابطه بدست آمده، ضریب شزی را محاسبه کنیم.




دیاگرام مودی

$$Q = CA\sqrt{RS} \Rightarrow \frac{Q}{C\sqrt{S}} = A\sqrt{R} = F(y)$$

رابطه بی بُعد

↙ معلوم

★ رابطه ای بین دبی و عمق پیدا کردیم.

این رابطه را در بسیاری از طراحی های هیدرولیکی به کار می بریم.



www.itnar.ir

• رابطه بازن $C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$ ← ضریب بازن

• رابطه کانلیه و کاتر $C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S_0} + \frac{1}{n}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S_0}) \frac{n}{\sqrt{R}}}$

n: ضریب بازی نشان دهنده میزان زبری مجاری است

* هرچه زبری افزایش پیدا کند مقاومت بیشتر می‌شود و عمق افزایش پیدا می‌کند (سرعت کاهش می‌یابد.)

• ضریب شزی متناسب با عکس زبری است.

• ضریب n متناسب با زبری است.

• رابطه مانینگ $\boxed{C = \frac{1}{n} R^{1/6}}$

$V = C\sqrt{RS} \rightarrow \boxed{V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S}}$

$Q = VA \rightarrow \boxed{Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S}}$ SI

$\boxed{Q = \frac{1.486}{n} A R^{2/3} \sqrt{S}}$ BG

برای بتن: $n = 0.015$ $(0.011 \sim 0.017)$

★ کمترین مقدار مشاهده شده برای n، 0.009 و بیشترین مقدار 0.17 است.

• عمق جریان یکنواخت ← عمق نرمال $(y_0 \text{ یا } y_n)$

★ برای محاسبه جریان یکنواخت، منظور محاسبه $y_0$ است. (در بیشتر مسائل کاربردی)

www.tnar.ir

آزمون منینگ $\rightarrow \quad \frac{Qn}{\sqrt{S}} = AR^{2/3} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$

★ ضریب زبری می‌تواند تابعی از نوع مصالح و یا پوشش گیاهی باشد. ولی ضریب زبری n را که در روابط به کار می‌بریم برحسب چند مصالح است.
(سطح مقطع صاف یا موج‌دار، جمع شدگی در پلان نیز ضریب زبری تأثیر گذارند.)

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5$$

$n_0$ : مقدار اولیه (ثابت)

$n_1$ : نامنظم بودن سطح — $n_2$ : جمع شدگی یا باز شدگی

$n_3$ : وجود موانع — $n_4$ : پوشش گیاهی

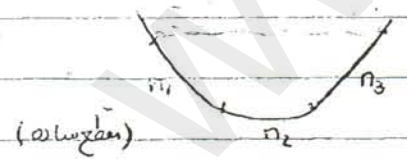
$m_5$ : درجه مارپیچی بودن

★ اثر ریپ روی ضریب زبری: افزایش آن است. گذاشتن سطح زبری هاتوسط ریپ پوشانده شود و ضریب زبری کاهش پیدا کند.

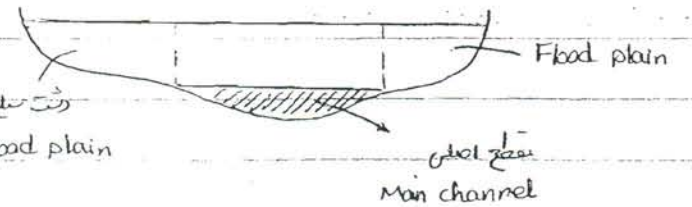
$$Q = K\sqrt{S} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$ ضریب انتقال مقطع

◄ مقطع مرکب

★ در این مقاطع باید زبری معادل را محاسبه کنیم.




★ اگر سطح آب در زمان های مختلف تغییر کند، سطوح مختلفی را می‌پوشاند بنابراین زبری در زمان های مختلف تغییر می‌کند.






www.tmar.ir

◄ اگر دانه بندی خاک را داشته باشیم، ضریب زبری برابر است با:

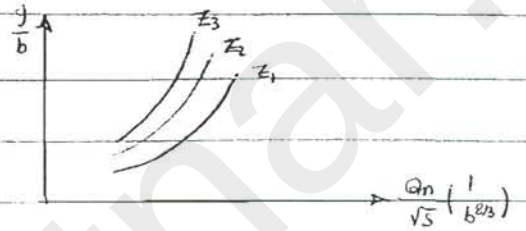
$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{21.1}$ استریکلر $\qquad n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26}$ Meyer

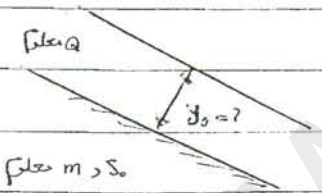
★ محدوده کاربرد این رابطه‌ها برای رودخانه‌های معمولی است ($d_{50}, d_{90} \rightarrow$ برحسب m)

★ برای مقطع ذوزنقه‌ای:

$\frac{Qn}{\sqrt{S}}\left(\frac{1}{b^{8/3}}\right) \rightarrow \frac{y}{b}$

پارامترهای بی‌بعد




$Q \rightarrow y_0$ (شکل مقطع، $n$، $S$)

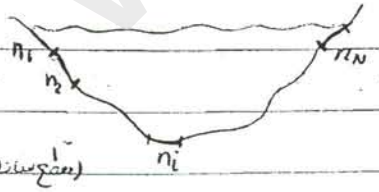
$Q \rightarrow y_c$ (شکل مقطع، $g$)

★ اگر شکل مقطع تغییر نکند، $y_c$ ثابت است ولی $y_0$ ثابت نیست و برای به دست آوردن $y_0$ با وجود یک شکل مقطع، براساس زبری‌های مختلف $y_0$های متفاوت داریم.

◄ زبری معادل

مقطع ساده

مقطع مرکب




$Q = \frac{1}{n_e} A R^{2/3} \sqrt{S}$

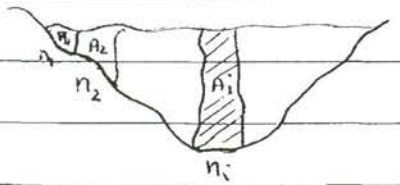
$n_e$ زبری معادل

۱- رابطه هورتن - ایرنس

$n_e = \left[\frac{1}{P}\sum_{i=1}^{N}(P_i n_i^{3/2})\right]^{2/3}$

www.tnar.ir

✱ در این رابطه فرض شده است که کلیه ی سرعت ها با هم برابرند :




$$V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

$$\boxed{\sum P_i n_i^{3/2} = P n_e^{3/2}}$$

P: پیرامون مرطوب کل سطح مقطع

۲- رابطه ی پاول نسکی

✱ نیروی مقاوم کل : جمع نیروهای مقاوم جزء طول ها

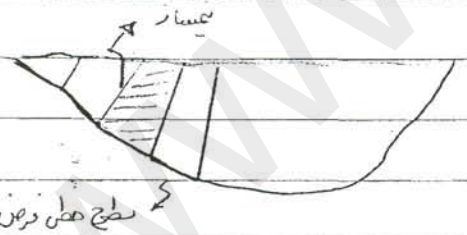
$$\boxed{\sum P_i n_i^2 = P n_e^2}$$

۳- رابطه ی لوتر

$$\boxed{\sum \frac{1}{n_i} P_i R_i^{5/3} = \frac{1}{n_e} P R^{5/3}}$$

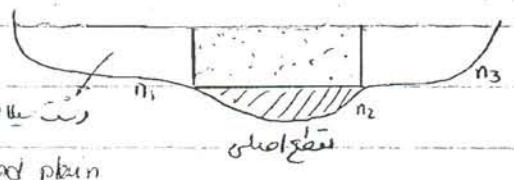
فرض : $Q = \sum Q_i$

✱ رابطه ی سوم جواب های بهتری می دهد و بیشتر توصیه می شود.




✱ برای به دست آوردن جزء سطح های مرطوب به هر زبری ، می توانیم نیمساز زاویه ی ایجاد شده بین دو سطح با زبری مختلف را رسم کنیم تا سطح آزاد آب را قطع کند.

• مقطع مرکب :

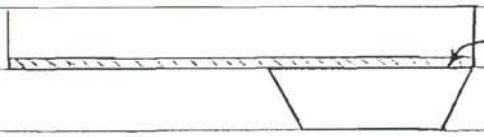



✱ توصیه شده که برای به دست آوردن زبری معادل از رابطه ی لوتر استفاده شود.

✱ برای به دست آوردن پیرامون مرطوب در مقطع اصلی باید خطوط قائم رسم شده را نیز در نظر بگیریم . (این خطوط ها در دشت سیلابی هم در نظر گرفته می شوند)



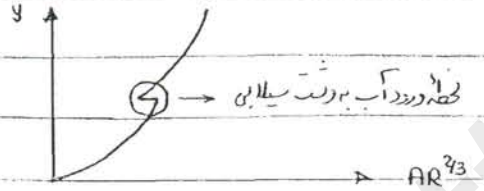
www.ttnar.ir




• مقطع اصلی پر شده و از این به بعد ← با بالا آمدن آب، سیل رخ می‌دهد.

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S} \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \sqrt{S}$$

★ با ورود آب به دشت سیلابی سطح مقطع و پرامون مرطوب افزایش می‌یابد. در بیشتر موارد، افزایش پرامون مرطوب آنقدر زیاد است که مقدار $\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$ کاهش می‌یابد.




★ روی منحنی پرامون مرطوب افزایش پیدا می‌کند و در این لحظه کاهش می‌یابد.

◄ بهترین مقطع هیدرولیکی

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

• فرض: $n$، $S$ و نوع شکل سطح مقطع ثابت است.

$\left.\begin{array}{l} A \text{ ثابت} \rightarrow \text{بیشترین دبی؟} \\ Q \text{ ثابت} \rightarrow \text{کمترین } A \text{؟} \end{array}\right\}$

★ کاربرد به دست آوردن سطح مقطع حداقل، از نظر اقتصادی خواهد بود که هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

★ با ثابت بودن $A$، بیشترین دبی در پرامون مرطوب حداقل رخ می‌دهد.

★ بهترین مقطع هیدرولیکی ← پرامون مرطوب حداقل

$\left.\begin{array}{l} \text{۱- مستطیل} \Rightarrow b = 2y \\ \text{۲- ذوزنقه} \Rightarrow \text{نصف یک شش ضلعی منتظم} \\ \text{۳- مثلث} \Rightarrow \text{نصف مربع} \end{array}\right\} \frac{\partial P}{\partial y} = 0$

www.ttnar.ir

◄ انواع شیب کانال ها

۱- شیب بحرانی ← $y_n = f(Q, n, s, \text{شکل مقطع})$

۲- شیب نرمال

۳- شیب بحرانی نرمال $S = S_c \Rightarrow y_0 = y_n = y_c$ شیب بحرانی

۴- شیب حد

★ شیب بحرانی، شیبی است که در آن عمق جریان برابر با عمق بحرانی خواهد شد.

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S} \rightarrow S_c = \left[ \frac{Q n}{A_c R_c^{2/3}} \right]^2$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $y_0 > y_c$ | $\rightarrow$ | $S_0 < S_c$ | شیب ملایم $(S_M)$ |
| $y_0 < y_c$ | $\rightarrow$ | $S_0 > S_c$ | شیب تند $(S_S)$ |
| $y_0 = \infty$ | $\rightarrow$ | $S_0 = 0$ | شیب صفر $(S_H)$ |
| $y_0 = \infty$ | $\rightarrow$ | $S_0 < 0$ | شیب معکوس $(S_A)$ |

## فصل پنجم: تئوری جریان متغیر تدریجی

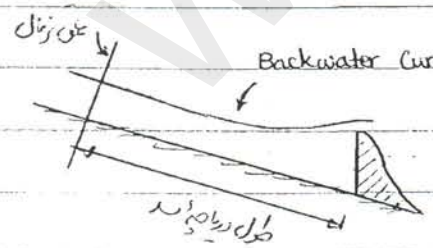
## Gradually Varied Flow

• فرضیات:

۱- طولانی بودن کانال

۲- کانال منشوری

۳- عدم وجود موانع



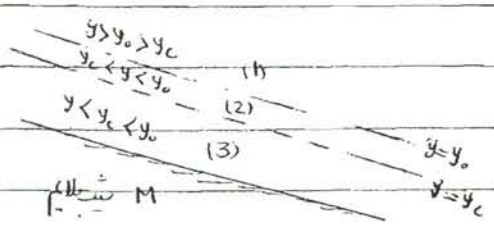

★ در محاسبات مدلسازی به دست آوردن Backwater curve بسیار مهم است.

★ از اینجا می‌توان طول رودخانه را محاسبه نمود.



www.tiran.ir

* نامگذاری منحنی‌ها براساس دو حرف است که حرف اول شیب و حرف دوم ناحیه‌ای است که منحنی در آن واقع شده است.



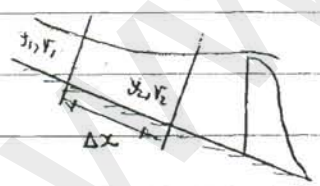

M(1,2,3) ، S(1,2,3) ، C(1,3) ، H(2,3) ، A(2,3)

سطح مقطع مستطیلی عرض $\Rightarrow$ $R=\frac{by}{b+2y}$ $\xrightarrow{b=\infty}$ $R=y$

$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}\sqrt{S} \Rightarrow q=\frac{1}{n}yR^{2/3}\sqrt{S}$

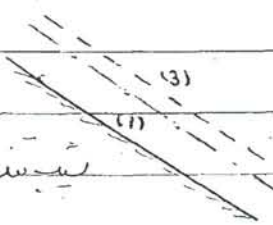
$(b\to\infty) \Rightarrow \boxed{q=\frac{1}{n}y^{5/3}\sqrt{S}}$

پس پس: عمق، سرعت



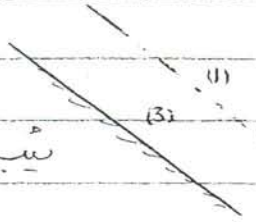

انواع شیب: A, H, S, C, M

انواع ناحیه‌های جریان: 1, 2, 3




شیب تند $S_0>S_c$

$y_0<y_c$

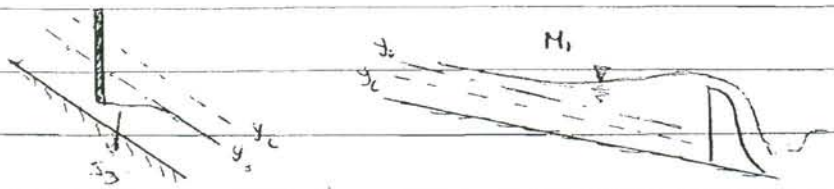



شیب کران

* حالات زیر وجود خارجی ندارند:

C2 , H1 , A1

www.itnar.ir




معادله انرژی : $H = z + y + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dx}$

$\Rightarrow -S_f = -S_0 + \frac{dE}{dy}\frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{dy}{dx}\left(\frac{dE}{dy}\right) = S_0 - S_f$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - F_r^2}} \qquad \boxed{S_0 - S_f = \frac{dE}{dx}}$$

★ حل کامل معادله نیازمند شرط مرزی است.

شرط مرزی : مقطع کنترل $Q = Q(y)$ $\begin{cases} x = x_0 \\ y = y_0 \end{cases}$

★ مقطع کنترل : ۱- عمق بحرانی ۲- عمق نرمال ۳- پاره هیدرولیکی

★ به صورت عمومی برای این معادله، جواب تحلیلی نداریم.

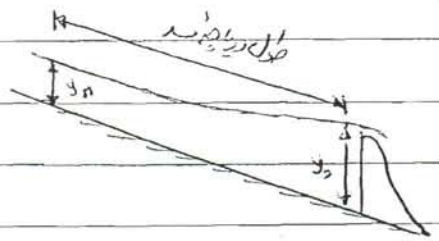
◄ برای محاسبه $S_f$ در جریان متغیر تدریجی از روابط مانینگ و شزی می‌توان استفاده نمود:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S_f} \Rightarrow \boxed{S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}}$$

$$Q = CA\sqrt{RS} \Rightarrow \boxed{S_f = \frac{Q^2}{C^2 A^2 R}}$$

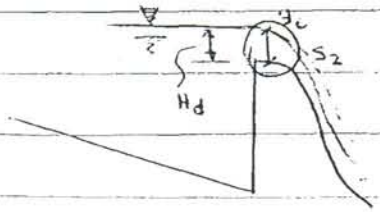
www.ttnar.ir

★ ما باید در سازه‌ی ورودی از شرط سازه‌ی هیدرولیکی در پایین دست استفاده کنیم.




◀ در جریان زیر بحرانی از شرط فوری در پایین رود و در جریان فوق بحرانی از شرط فوری در بالادست استفاده می‌کنیم.

• شرط فوری سازه‌ی هیدرولیکی :




$$Q = C L H_d^n$$

$(C \simeq 2.1)$ ، $n = 1.5$

★ برای سرریز سدها می‌توان از اعداد ذکر شده برای C و n استفاده کرد.

★ چون محل وقوع $y_c$ به طور مشخص، معلوم نیست بنابراین از شرط فوری سازه‌ی هیدرولیکی استفاده می‌کنیم نه عمق بحرانی.

★ در ناحیه‌های 1 و 3 همیشه $\frac{dy}{dx} > 0$ و در ناحیه‌ی 2، $\frac{dy}{dx} < 0$ می‌باشد.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \quad , \quad S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} = \frac{Q^2 n^2}{F(y)}$$

ناحیه‌ی 1 : $y > y_c$ ، $y > y_0 \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{+}{+} \rightsquigarrow \frac{dy}{dx} > 0$

$$\left.\begin{aligned} S_0 &= \frac{Q^2 n^2}{F(y_0)} \\ S_f &= \frac{Q^2 n^2}{F(y)} \end{aligned}\right\} \quad y > y_0 \Rightarrow S_f < S_0 \Rightarrow S_0 - S_f > 0$$

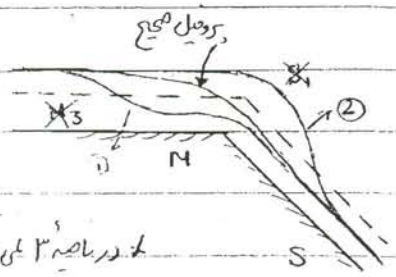
www.ttnar.ir

48

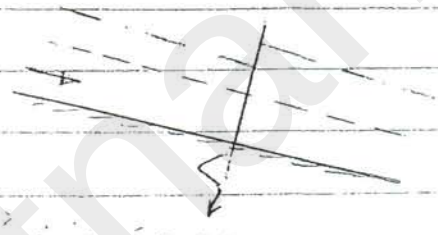
ناحیه ۳ : $\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} \Rightarrow \frac{dy}{dx} > 0$

$S_f \propto V^2$ : $y < y_0 \rightarrow V > V_c \rightarrow S_f > S_0$

◄ ترکیب نیمرخ های مختلف سطح آب




* در ناحیه ۳ می توانیم کاهش عمق داشته باشیم.



زیری در مجاب جریان از این ناحیه

* با تغییر زبری، عمق بحرانی تغییر کرده و در نتیجه در دو طرف نقطع بازه ی متعادل خط ربوط به عمق بحرانی ثابت است.

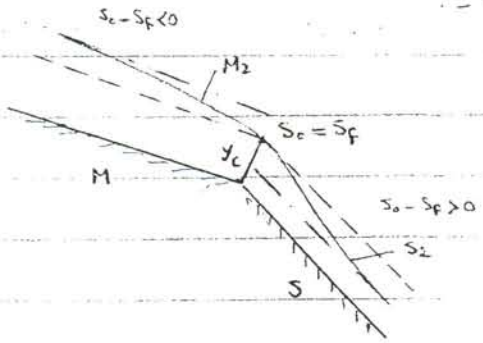
• نکات قابل توجه

۱- محاسبات از پا شروع و به بالا ختم می شود.

۲- در گذر از جریان فوق بحرانی به جریان زیر بحرانی پرش هیدرولیکی داریم.

۳- توجه به علامت $\frac{dy}{dx}$ در ناحیه های مختلف داشته باشیم.

◄ با افزایش شیب، عمق نرمال کاهش می یابد.

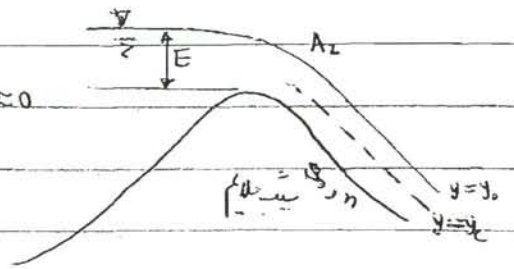



www.tinar.ir

## آبگیری از یک دریاچه

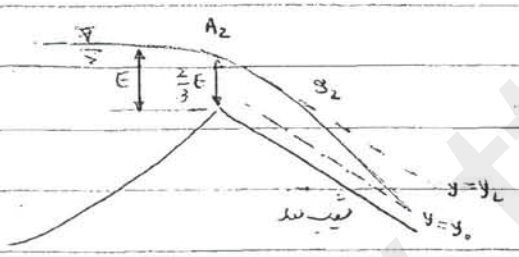
دریاچه با توزیع سطح ثابت

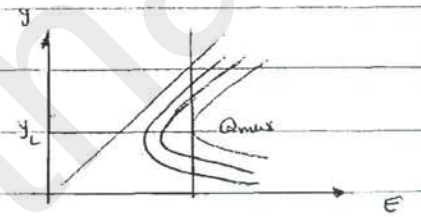
کانال آبگیر با شیب و زبری معلوم و مشخصات هندسی معلوم

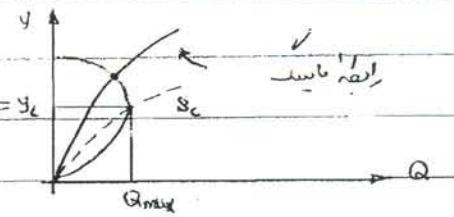



• فرضیات

- عدم تلفات انرژی در دهانه آبگیر
- عدم زیاد در دریاچه $\frac{V^2}{2g} \simeq 0$
- انرژی مخصوص دهانه کانال ثابت




★ برای انرژی مخصوص ثابت، بیشترین دبی در عمق بحرانی رخ می‌دهد

★ نزدیک به دبی ماکزیمم با افزایش شیب، دبی افزایش می‌یابد اما پس از آن باز ایستادن شیب دبی تغییری نمی‌کند و همان $Q_{max}$ است.

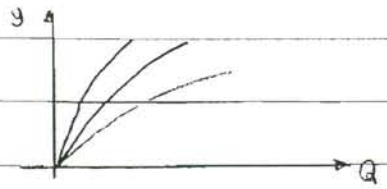
$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad , \quad Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S}$$

★ با فرض شیب ملایم با استفاده از دو معادله بالا، دو مجهول Q و S را بدست می‌آوریم.

★ همان طور که در نمودار Q-y در بالا نشان داده شده حل تلاقی دو نمودار مربوط به رابطه نامشخص و دبی، جواب مسئله خواهد بود.

www.tmari.ir

50



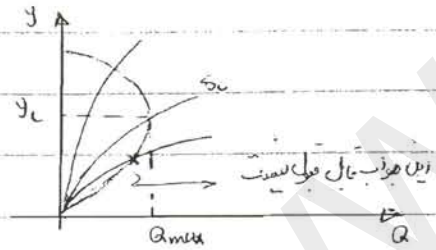

★ رابطه مانینگ برای شیب های مختلف رسم شده است. مشاهده می شود که با افزایش شیب برای یک عمق مشخص، دبی زیاد می شود.

◄ برای تشخیص ملایم بودن یا تند بودن شیب می توانیم به صورت زیر عمل کنیم:

$$E \text{ مشخص} \Rightarrow y_c = \frac{2}{3}E \Rightarrow Q_{max} = b\sqrt{g y_c^3}$$

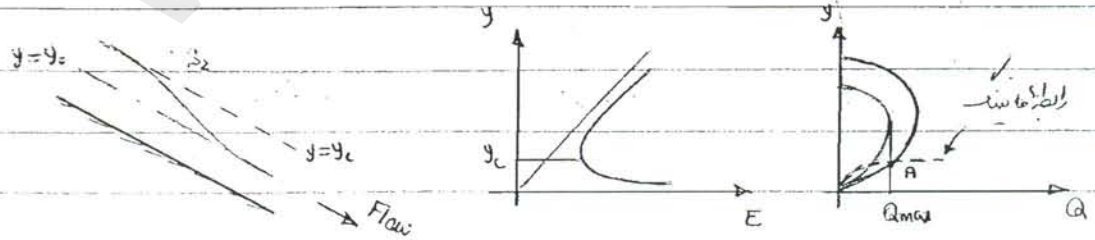
$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = A\sqrt{D} \rightarrow \boxed{Q = A\sqrt{gD}}$$ ← مقدار $S_c$ را بدست می آوریم

★ اگر شیب کمتر از $S_c$ باشد، شیب ملایم و اگر بیشتر از آن باشد، شیب تند است.




◄ جواب در حالت دوم قابل قبول و احد نبود چون دیگر رابطه $E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$ برقرار نیست. (این رابطه فقط برای دهانه آبگیر است.) بنابراین حل هم زمان دو رابطه قابل قبول نیست.

بنابراین آبشیب از شیب بحرانی بیشتر باشد، پس برای $Q_{max}$ جواب بود.

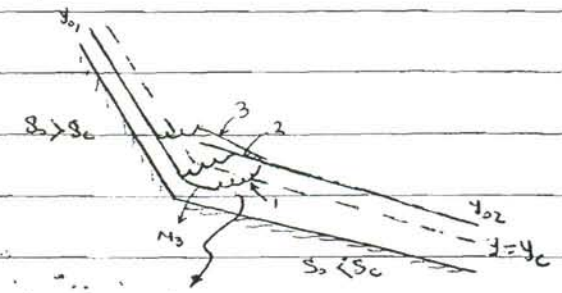



★ در این حالت جواب منحصر نقطه A می باشد. چون دبی ماکزیمم است و رابطه مانینگ صادق است.



www.itnar.ir

★ با توجه به علامت $\frac{dy}{dx}$ در نواحی مختلف می‌توانیم پروفیل سطح آب را رسم کنیم



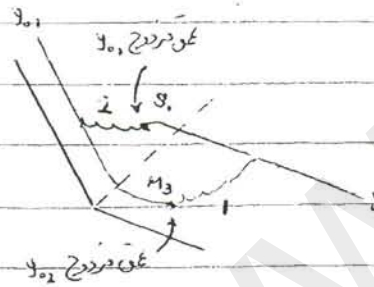

چون جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی می‌رسد پرش رخ می‌دهد

★ این مسئله به جواب خواهد رسید.

★ فرض اینکه پرش در کل تغییر شیب باشد این است که $y_{01}$ و $y_{02}$ اعماق مزدوج باشند.

$$\frac{y_{02}}{y_{01}} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_1^2} - 1\right)$$

★ در این حالت فرض می‌کنیم که رابطه بالا برای شیب تند هم صادق است.




◄ اگر عمق مزدوج $y_{02}$ بیشتر از $y_{01}$ باشد حالت (1) و اگر عمق مزدوج $y_{01}$ از $y_{02}$ کمتر باشد، حالت (2) رخ می‌دهد.

◄ در محاسبات معمولاً طول پرش را در نظر می‌گیرند و در عمل این طور نیست که مانند حالت پرش در کل تغییر شیب پرش به طور دقیق رخ دهد.

طول پرش: $L_j = (4 \sim 6) y_2$

## فصل ششم : محاسبه و رسم پروفیل های سطح آب

* برای حل یک معادله دیفرانسیل باید شرایط مرزی اعمال شود:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2}$$

شرط مرزی: مقطع کنترل

$$\begin{cases} x = x_0 \\ y = y_0 \end{cases}$$

- Q ثابت و معلوم در طول پروفیل
- نوع مقطع، $S_0$ و n مشخص

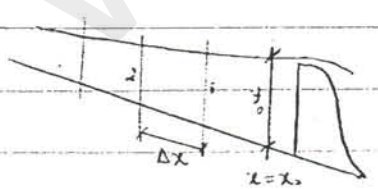
روش کار: روش عددی ← تفاضل های محدود F.D

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad , \quad \frac{dy}{dx} \simeq \frac{\Delta y}{\Delta x} + \underbrace{H.O.T}_{\downarrow}$$

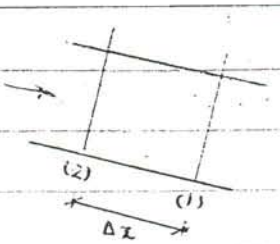
جملات از مرتبه بالاتر (مقدار خطا را نشان)

* از دو روش در حل مسائل استفاده می کنیم:
- روش گام به گام مستقیم
- روش گام به گام استاندارد

در روش گام به گام مستقیم مقاطع مختلفی به فاصله $\Delta x$ از هم را مشخص می کنیم و از یک مقطع مشخص به سمت مقطع دیگری می رویم و مجهولات را بدست می آوریم.




مقطع کنترل




معلوم $y_1$ , Q

$y_2 = ?$

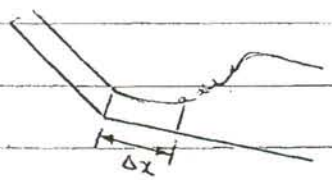
$$H = Z + E \rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{dE}{dx}$$



www.tnar.ir

$$S_0 - S_f = \frac{dE}{dx} \Rightarrow \frac{\Delta E}{\Delta x} \sim S_0 - S_f \Rightarrow \frac{E_2 - E_1}{\Delta x} = S_0 - S_f$$

* در روش گام به گام مستقیم فرض بر این است که $y_1$ و $y_2$ معلوم و $\Delta x$ مجهول است.
* در روش گام به گام استاندارد $\Delta x$ ، $y_1$ معلوم و $y_2$ مجهول است.




صفحه 229

* در این حالت برای بدست آوردن $\Delta x$ از روش گام به گام مستقیم استفاده می‌کنیم

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} \Rightarrow \frac{E_2 - E_1}{\Delta x} = S_0 - \bar{S}_f \quad , \quad \bar{S}_f = \frac{1}{2}(S_{f_1} + S_{f_2})$$

$$E_2 = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} \quad , \quad E_1 = y_1 + \frac{Q^2}{2gA^2} \Rightarrow \boxed{\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - \bar{S}_f}}$$

صفحه 233

◆ روش گام به گام استاندارد

* محاسبات بر حسب فاصله است.
* روش گام به گام استاندارد، یک روش سعی و خطا می‌باشد.

* معلوم $Q$ ، $y_1$ ، $S_0$ ، هندسه کانال ، $\Delta x$ ⟸ $y_2 = ?$

$$H_1 = H_2 + \Delta H \Rightarrow y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H_2 + \Delta H$$

۱- حدس مقدار $y_2^*$

۲- بدست آوردن انرژی در مقطع 2 $\quad H_2^* = y_2^* + z_2 + \frac{V_2^{2*}}{2g}$

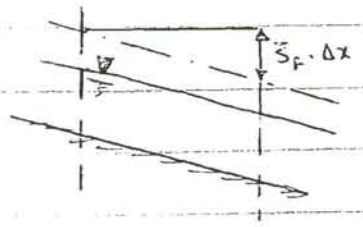
۳- محاسبه مقدار $\bar{S}_f$

$$\bar{S}_f = \frac{1}{2}(S_{f_1} + S_{f_2}^*) \Rightarrow \bar{S}_f \times \Delta x = \Delta H$$

۴- چنین $H_1 - H_2^* = \Delta H$ ⟸ $y_2 = y_2^*$ بله

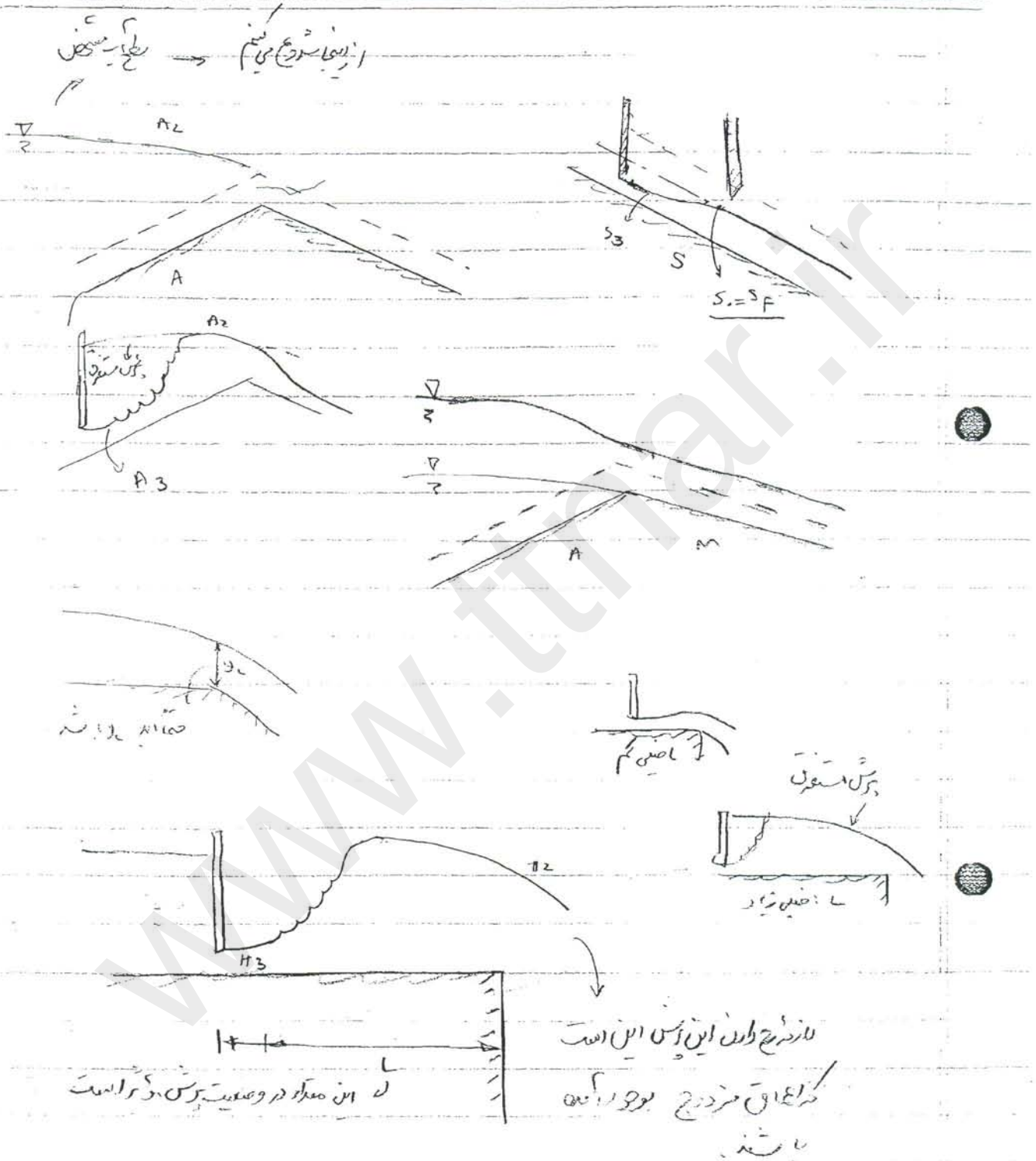
www.tnar.ir

* چون می خواهیم در یک ایستگاه مشخص ، مقدار عمق را بدست آوریم بنابراین معمولاً روش گام به گام استاندارد مورد استفاده قرار می گیرد.




$$\Delta H = \bar{S}_f \cdot \Delta x$$

www.ttnar.ir




www.tmar.ir

| ردیف | نام محصول | تعداد |
|---|---|---|
| | **فیلم های مهندسی عمران** | |
| ۱ | **مجموعه ۱۲ فیلم آموزشی مهندسی عمران دوبله** | 4 DVD |
| ۲ | **مهندسی بینهایت , مجموعه ٥٤ مستند آموزشی** | 6 DVD |
| ۳ | **٥١ فیلم آموزشی مهندسی عمران - ابر سازه ها** | 6 DVD |
| ۴ | **مجموعه اشتباهات مهندسی** | 4 DVD |
| ۵ | مستند برج دبی | 1 DVD |
| ۶ | مقالات چهارمین کنگره سراسری مهندسی عمران | 1 CD |
| ۷ | مقالات هفتمین کنگره سراسری مهندسی عمران | 1 CD |
| ۸ | فیلم مراحل ساخت برج مارپیچ در اسپانیا | 1 CD |
| ۹ | مستند آموزشی برسی ساخت برترین آسمانخراشها | 1 CD |
| ۱۰ | فیلم مستند گسترش مسجد النبی | 2 CD |
| ۱۱ | فیلم آموزشی آشنایی و برسی جزئیات برج بلند سیرز در شیکاگو آمریکا | 1 CD |
| ۱۲ | فیلم آموزشی ساخت فرودگاه کانسای ژاپن | 1 CD |
| ۱۳ | فیلم آموزشی مراحل ساخت سد کارون ۳ | 2 CD |
| ۱۴ | فیلم آموزشی مراحل ساخت پل های کارون ۳ | 1 CD |
| ۱۵ | مجموعه فیلم های مستند عظیم تر بسازید | 3 DVD |
| ۱۶ | مستند آموزشی زلزله های عظیم | 1 DVD |
| جدید | مجمموعه مهندسی یک امپراطوری | 2 DVD |
| جدید | مجمموعه مستند شهر های عظیم | 2 DVD |
| جدید | مجموعه مجلات نشنال جئوگرافیک ( آرشیو ۱۲۰ ساله ) | 6DVD 8 gig |
| ۱۷ | ماجراجویی در معماری(دوبله فارسی) | 2 DVD |
| ۱۸ | مجموعه مجلات و کتابهای مهندسی معماری و دکراسیون داخلی تا سال ۲۰۱۰ | 5 DVD |
| ۱۹ | مجموعه فیلمهای برترین آثار بهترین معماران جهان | 2 DVD |
| ۲۰ | Help فارسی نرم افزار اتوکد به همراه کتاب الکترونیکی آموزشی ۶۲۰ صفحه ای | 1 CD |
| ۲۱ | جدیدترین آبجکتهای سه بعدی معماری برای D Max۳ | 1 DVD |
| جدید | ژورنال های داخلی و خارجی معماری | 3 DVD |
| | **مجموعه نقشه های اتوکد** | |
| ۲۲ | سمبلهای اتوکد | 1 CD |
| ۲۳ | ۳۴۰ نقشه ساختمانهای اداری تجاری و فرهنگی و ... | 1 CD |
| ۲۴ | بیش از ۱۰۰ نقشه معماری ساختمان | 1 CD |
| ۲۵ | مجموعه نقشه اتوکد طرح هادی و ثبتی | 1 CD |
| ۲۶ | مجموعه نقشه های اتوکد معماری و سازه | 1 CD |
| ۲۷ | ۸۰۰ نقشه سازه ساختمان در محیط اتوکد | 1 CD |
| ۲۸ | بیش از ۱۰۰ نقشه سه بعدی | 1 CD |
| | **آموزش نرم افزار های عمران و معماری** | |
| ۲۹ | آموزش ETABS | 1 DVD |
| ۳۰ | آموزش SAFE | 1 DVD |
| ۳۱ | آموزش AOUTOCAD۲۰۱۱ | 1 DVD |
| ۳۲ | آموزش 3D HOME | 1 DVD |
| ۳۳ | آموزش ARCHICAD | 1 DVD |
| ۳۴ | آموزش SAP | 1 DVD |
| ۳۵ | آموزش TEKLA STRACTURES | 1 DVD |
| | **نام محصول** | **تعداد** |

| ردیف | | |
|---|---|---|
| **فیلم ها و محصولات آموزش زبان انگلیسی ( ویژه )** | | |
| ۳۶ | **مجموعه کامل آموزش زبان انگلیسی English For You ( بهمراه نسخه قابل نمایش در موبایل )**<br>مجموعه English For You و یا به اختصار، EFU برترین مجموعه ویدئویی آموزش زبان انگلیسی است که حقیقتاً نیاز به استاد و کلاس را به طور کامل برطرف می‌کند. در این مجموعه شما انگلیسی را از اساتید انگلیسی زبان یاد می‌گیرید و مطمئناً تفاوت آن را با مؤسسات ایران که اکثراً اساتیدی دانشگاهی دارند متوجه خواهید شد. | 6 DVD |
| ۳۷ | **سریال آموزشی زبان انگلیسی EXTRA ( به همراه نسخه قابل نمایش در موبایل و فایل ورد متن)**<br>سریال آموزش زبان EXTR@-TV مجموعه ای است ویدئوی که در قالب طنز و با روشی بسیار ساده و قوی بیننده را در مسیری ویژه جهت یادگیری زبان انگلیسی قرار می دهد. | 3 DVD |
| ۳۸ | **جامع ترین دوره ی آموزشی IELTS** | 1 DVD |
| ۳۹ | **آموزش گرامر زبان انگلیسی بصورت فیلم- Complete English Grammar Series** | 1 DVD |
| ۴۰ | **انگلیسی به روش اعجاب انگیز X.L.C** | 2 DVD |
| ۴۱ | **دوره آموزش زبان NEW Interchange Intro** | 1 DVD |
| ۴۲ | **بسته آموزش مکالمه Fluent English** | 1 CD |
| ۴۳ | **آموزش زبان انگلیسی در خواب** | 1 DVD |
| ۴۴ | **آموزش زبان نصرت ۲ همراه با تقویت حافظه نصرت** | 1 DVD |
| ۴۵ | **مجموعه آموزش ۱۲ زبان زنده دنیا** | 4 DVD |

محصولات جدید:

| | | |
|---|---|---|
| آموزش پریماورا | 3cd | ۶۵۰۰ |
| آموزش۲۰۱۲ 3dmax | 1dvd | ۹۹۰۰ |
| آموزش MS project | 1dvd | ۸۹۰۰ |
| مجموعه عکس های ۳۰۰ dpi | 4cd | ۸۰۰۰ |
| مجموعه آموزش زبان دیالوگ | 7dvd | ۱۰۰۰۰ |

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران و معماری و فروشگاه تخصصی زبان (zabanshop.ir) افتخار دارد که در راستای بالا بردن توان علمی شما دانشجویان و مهندسین عزیز محصولات متنوع آموزشی را برای شما به عنوان اولین فروشگاه تخصصی مهندسی عمران و معماری و زبان مهیا کرده است شما دوست گرامی میتوانید برای سفارش هر یک از محصولات به یکی از سه روش زیر اقدام فرمایید

**۱ - سفارش از طریق سایت ( خرید پستی- تحویل و تسویه درب منزل )**

برای سفارش به این روش به سایت WWW.OMRANSHOP.IR و www.zabanshop.ir رفته و روی دکمه خرید پستی محصول مورد نظر کلیک کنید و مشخصات خود را در فرم وارد نموده و منتظر بمانید تا بسته پستی شما توسط پستچی درب منزل تحویل شما شود و همانجا طبق فاکتور مبلغ مورد نظر را به پستچی تحویل دهید

**۲ - سفارش تلفنی یا از طریق ایمیل**

اگر به اینترنت دسترسی ندارید یا در مرحله ثبت سفارش به مشکلی برخوردید میتوانید محصولات درخواستی خود را همراه با آدرس دقیق و کد پستی و نام گیرنده به شماره همراه ۰۹۱۵۸۲۰۶۶۴۶ پیامک کنید یا با تماس تلفنی این موضوع را با همکاران ما درمیان بگذارید و یا از طریق ایمیل info@icivil.ir موارد بالا را ایمیل بزنید تا همکاران ما در فروشگاه راسا اقدام به ثبت سفارش برای شما کنند

**۳ - خرید نقدی**

مزیت خرید نقدی بر آنست که بسته شما زودتر به دست شما خواهد رسید و شما از هزینه پستی معاف هستید برای ثبت سفارش مبلغ محصولات درخواستی را به شماره حساب های اعلام شده در سایت واریز نموده و فرم خرید پستی را تکمیل کنید در صورتی که به اینترنت دسترسی ندارید با همکاران ما با شماره تماس ۰۹۱۵۸۲۰۶۶۴۶ تماس حاصل فرمایید تا شمارا راهنمایی کنند

با تشکر از شما