

جزوه

هیدرولیک

✓ شامل جزوات آموزشی درس هیدرولیک

✓ ویژه آزمون های استخدامی و اخذ مدرک

لینک های مفید آزمون ها

خرید سوالات کارشناس رسمی دادگستری
برق، ماشین و تاسیسات کارخانجات

خرید سوالات بانگذار مهندسی ساختمان
(عمران) بانک سینا

خرید سوالات مهندس عمران آبفا

خرید سوالات کارشناس رسمی دادگستری
مهندسی آب

شبکه های اجتماعی ایران عرضه
(فایل های رایگان + تخفیفات هفتگی + اخبار)

(برای مشاهده هر بخش روی آن بزنید )

فهرست مطالب

- ❖ فصل اول: خلاصه هیدرولیک به کوشش امیرحسین دهقانی پور - صفحه ۴
- ❖ فصل دوم: خلاصه هیدرولیک به کوشش مهندس حسین فتحی - صفحه ۵۷



خلاصه هیدرولیک

حاوی فرمول‌ها و نکات مهم

مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

باتشکر از زحمات

آقای مهندس امیر قبری‌زبان

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

فصل اول: کلیات و مفاهیم اولیه

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

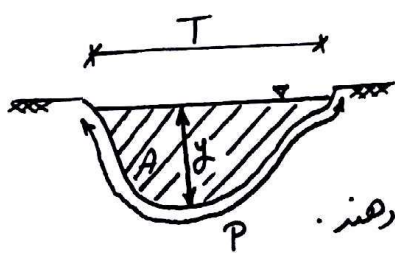
* یادداشت‌های هیدرولیکی مقاطع مورفی :

- فرض مهم در این قسمت : این یادداشت‌ها با فرض همگرازه کار می‌شوند .

عکس جریان : فاصده می‌گویی بین پایین ترین نقطه ای که کانال از سطح آزاد آب ، عکس جریان نام دارد و آن را با "A" نشان می‌دهیم .

سطح مقطع جری : بخشی از مقطع مورفی که توسط سطح انتقال شده است و آن را با "A" نشان می‌دهند .

براون رطوب (براون غنی) : طول خط تماس بین سطح غنی شده ای که در دورای کانال آب



و آن را با "P" نشان می‌دهند .

عرض سطح آزاد آب : عرض متراکم بین آب و کانال را با "T" نشان می‌دهند .

مقطع هیدرولیکی : (R) $R = \frac{A}{P}$ ← مقطع هیدرولیکی

عکس هیدرولیکی : (D) $D = \frac{A}{T}$ ← عکس هیدرولیکی

* نکات مربوط به یادداشت‌های هیدرولیکی مقاطع مورفی :

۱- مشخصات هندسی (م ح د ، براون رطوب ، عرض سطح آزاد آب) مربوط به کانال مشخص می‌شود و در زیر

مطرح می‌شوند .

مختصات دایره
(D)

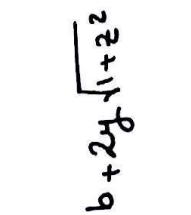
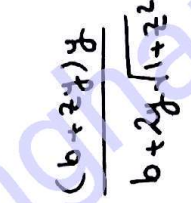
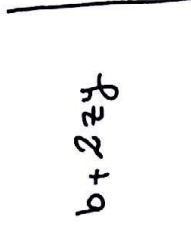
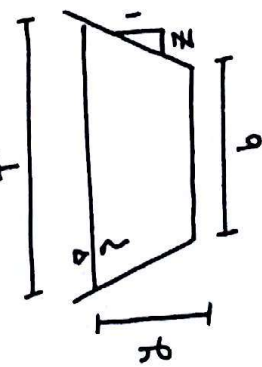
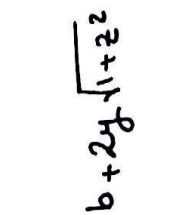
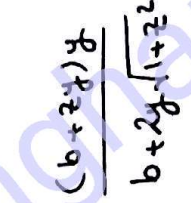
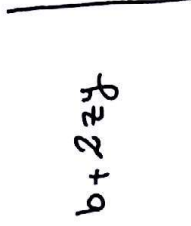
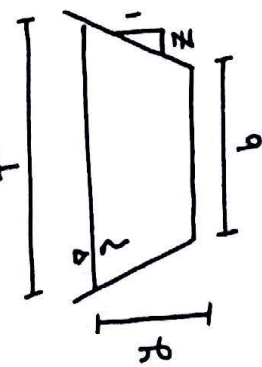
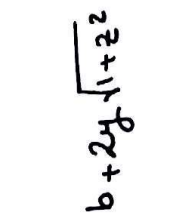
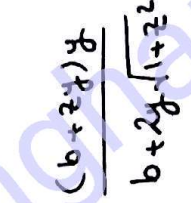
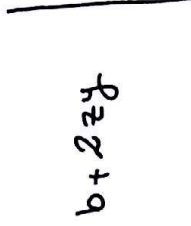
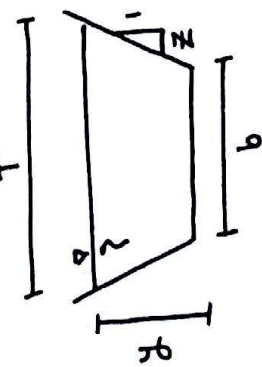
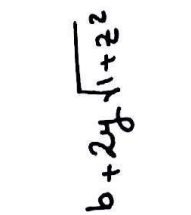
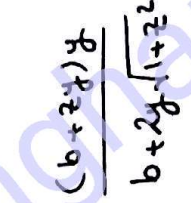
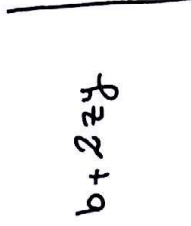
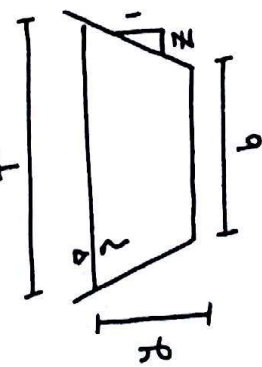
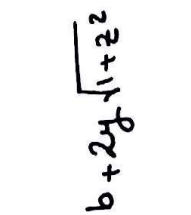
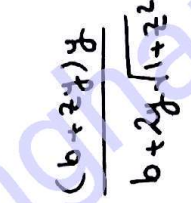
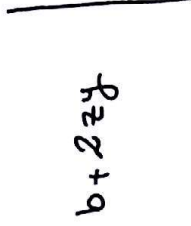
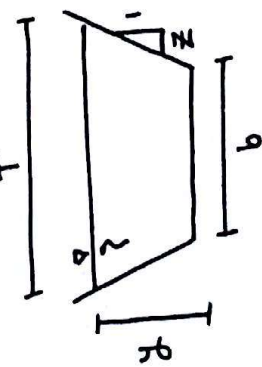
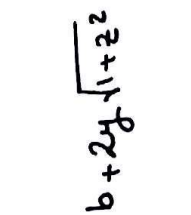
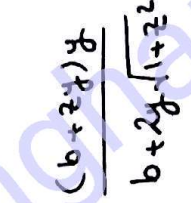
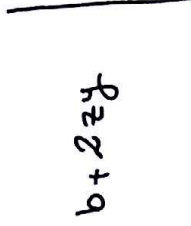
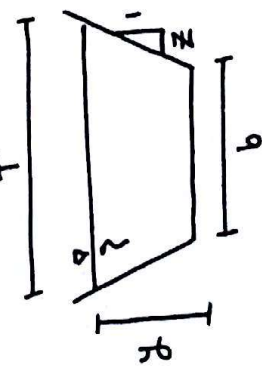
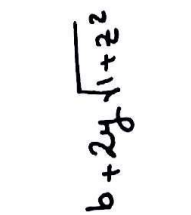
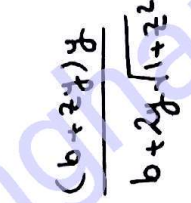
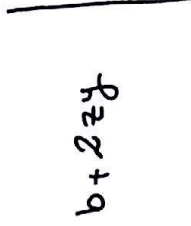
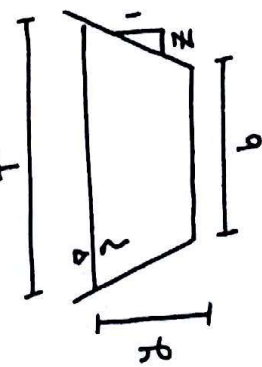
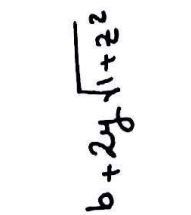
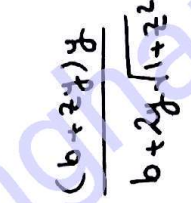
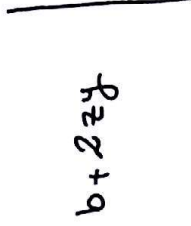
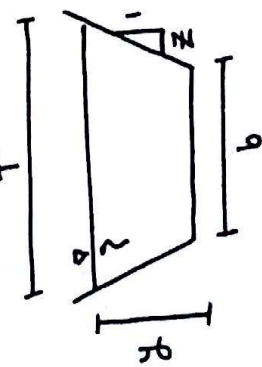
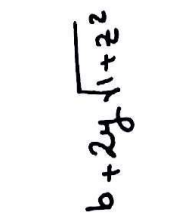
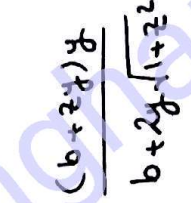
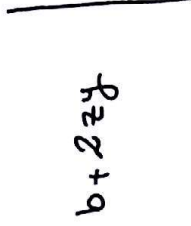
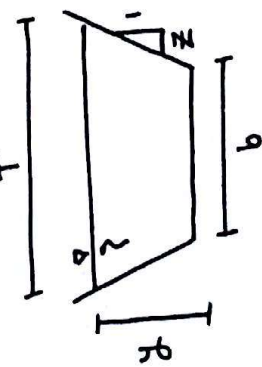
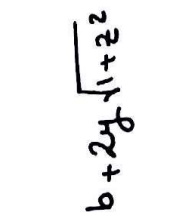
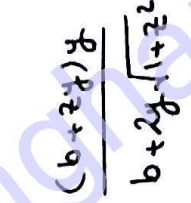
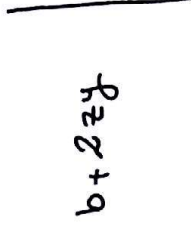
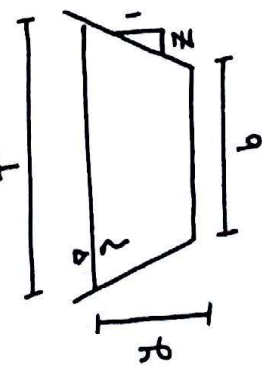
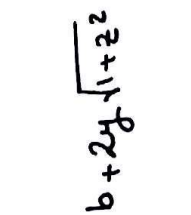
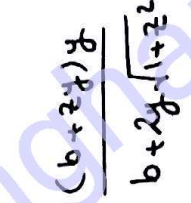
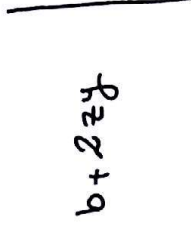
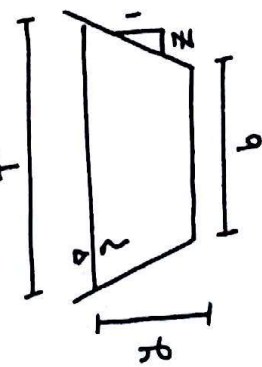
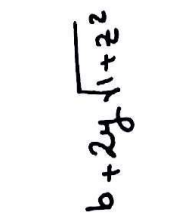
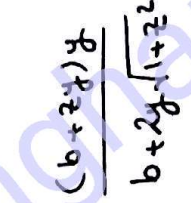
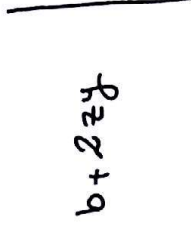
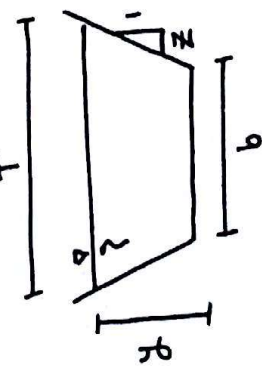
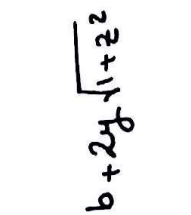
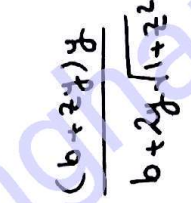
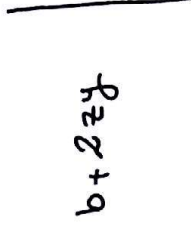
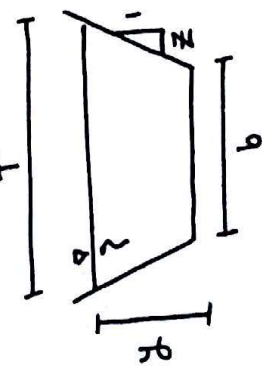
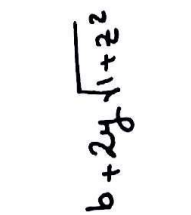
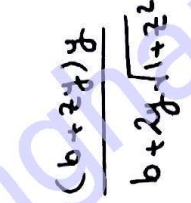
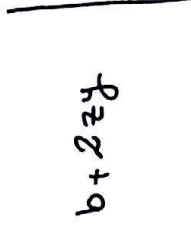
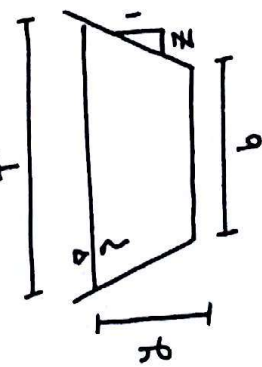
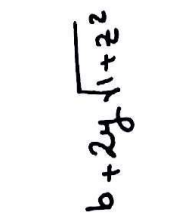
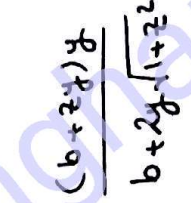
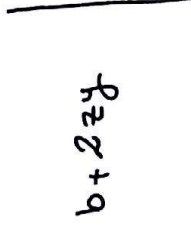
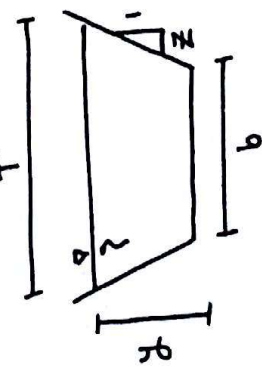
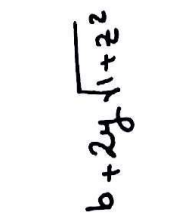
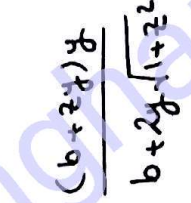
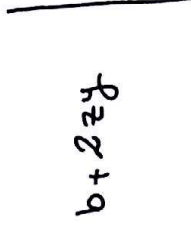
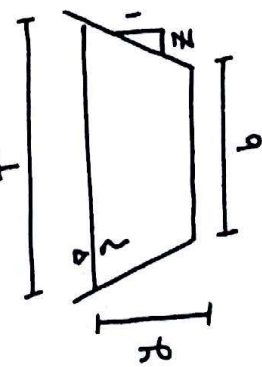
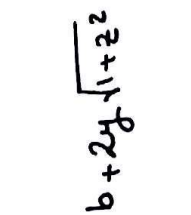
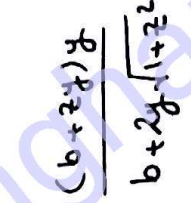
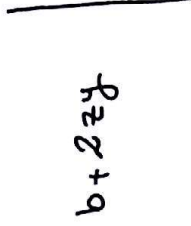
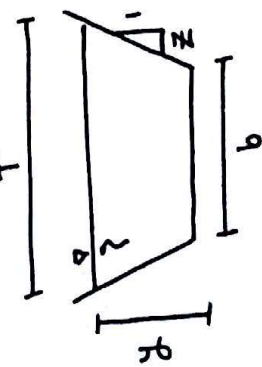
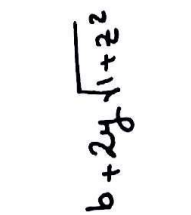
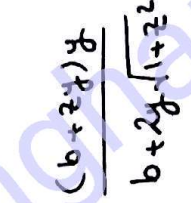
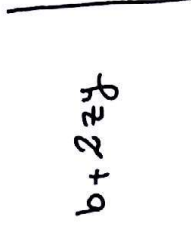
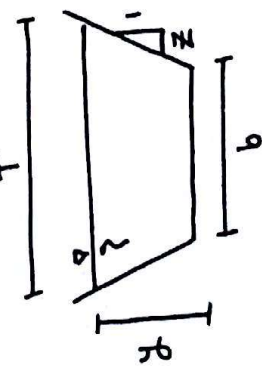
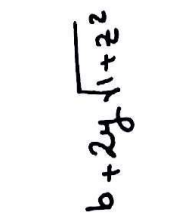
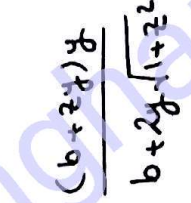
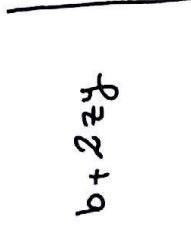
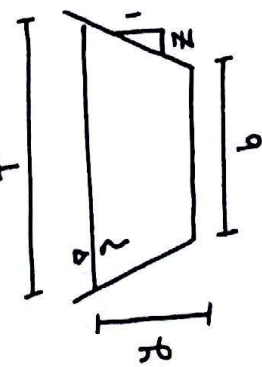
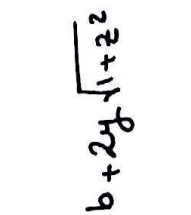
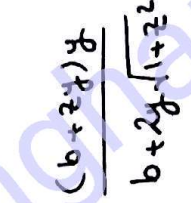
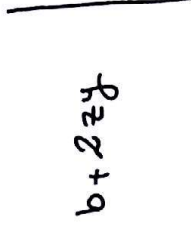
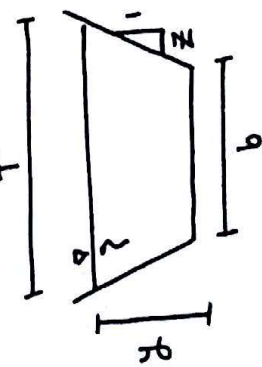
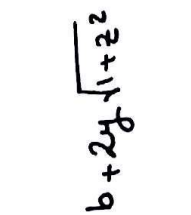
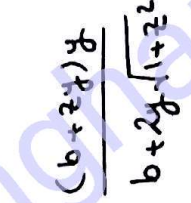
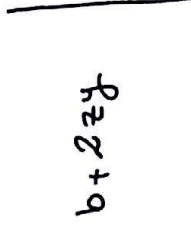
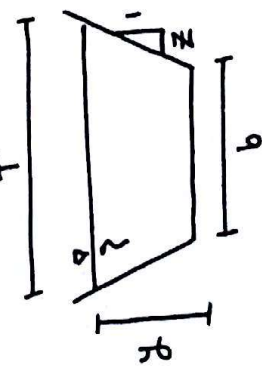
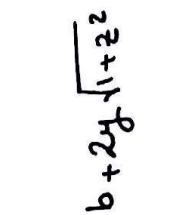
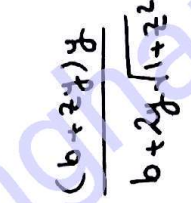
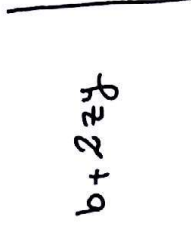
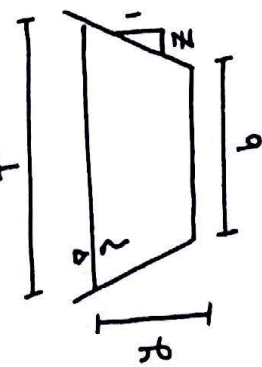
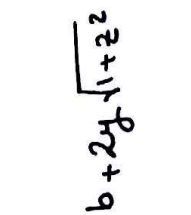
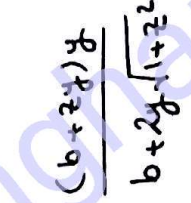
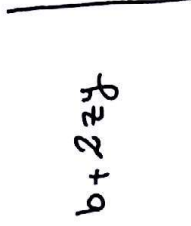
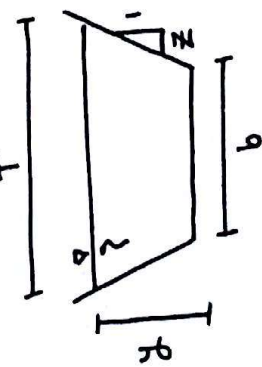
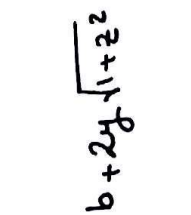
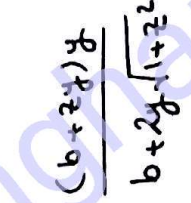
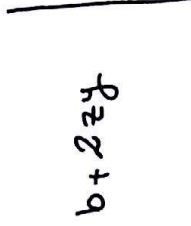
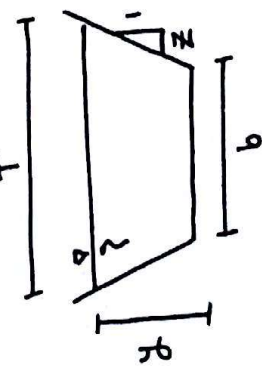
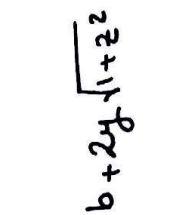
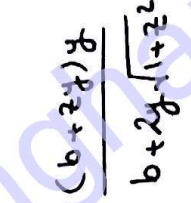
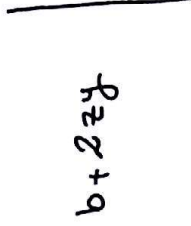
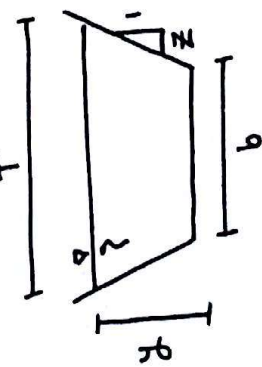
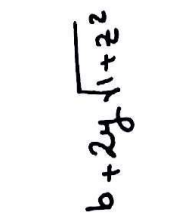
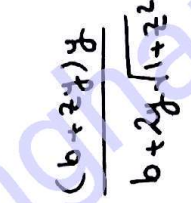
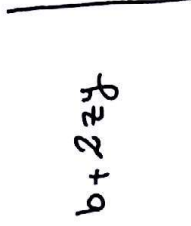
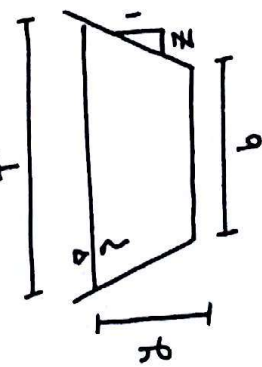
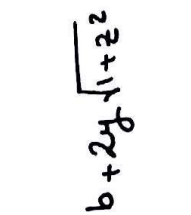
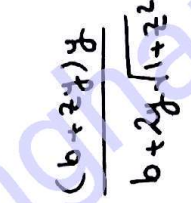
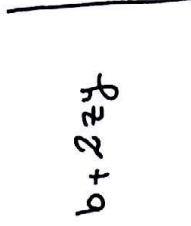
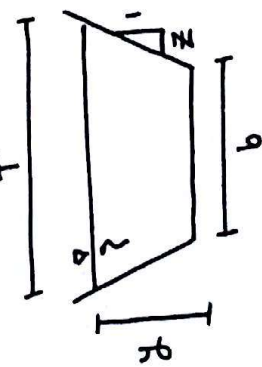
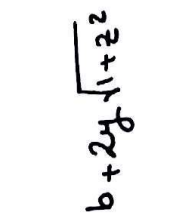
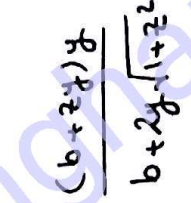
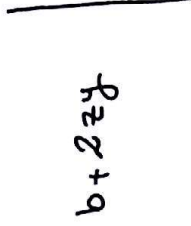
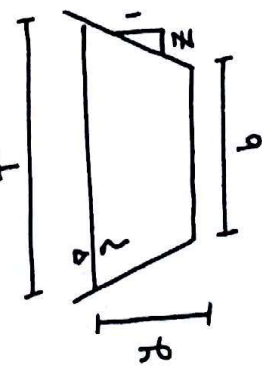
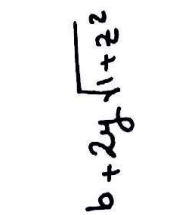
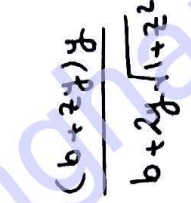
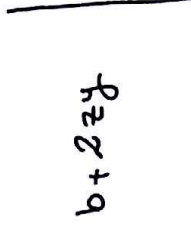
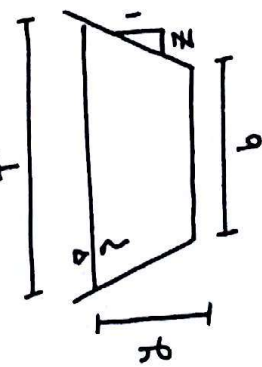
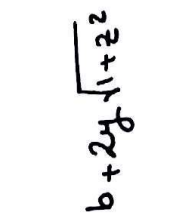
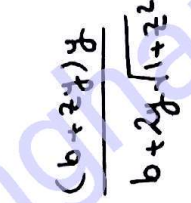
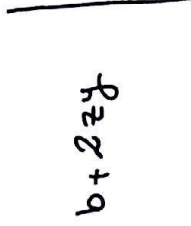
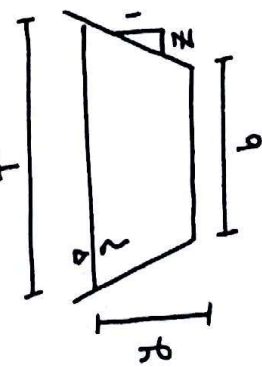
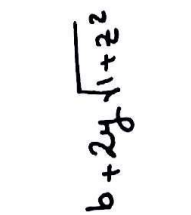
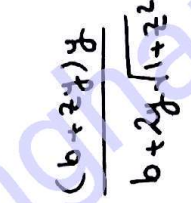
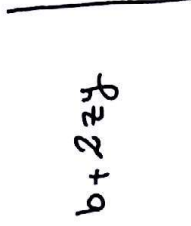
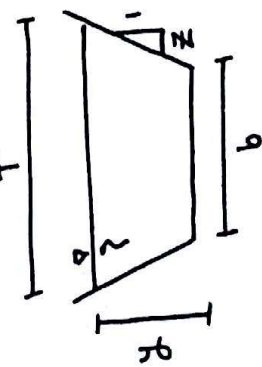
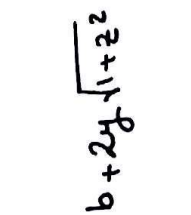
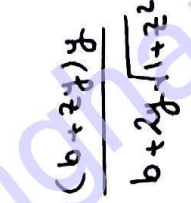
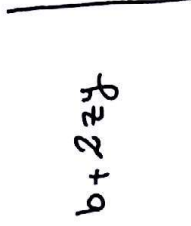
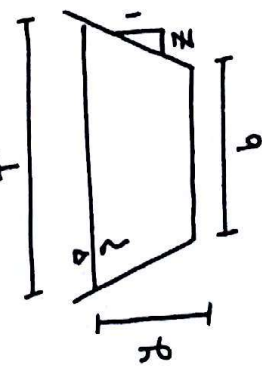
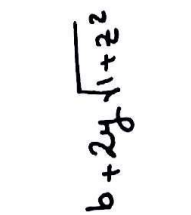
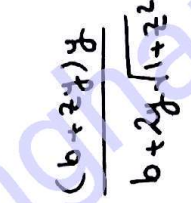
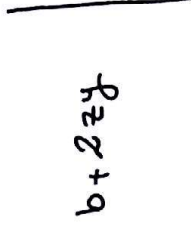
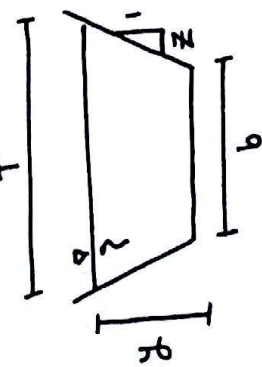
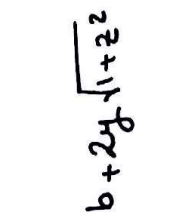
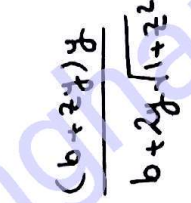
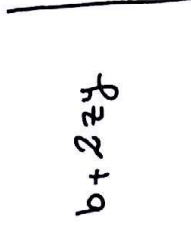
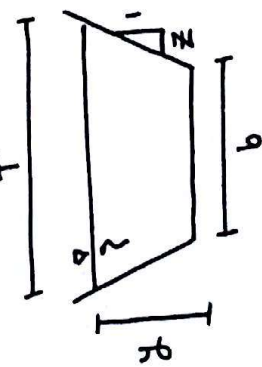
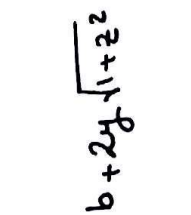
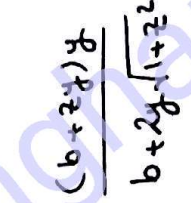
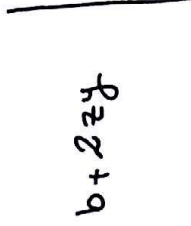
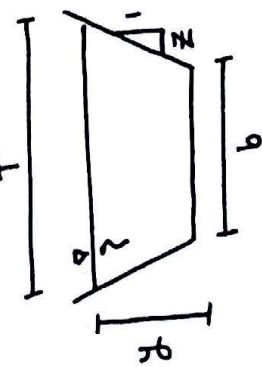
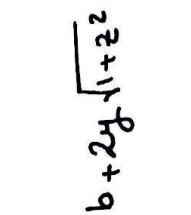
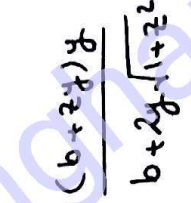
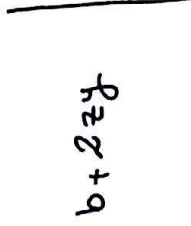
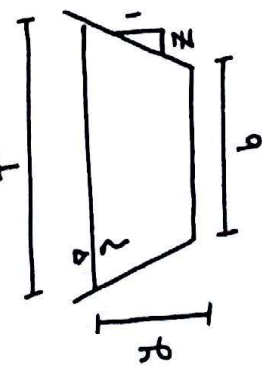
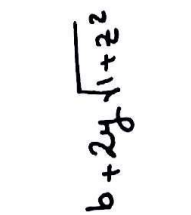
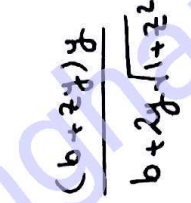
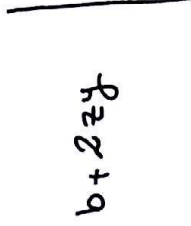
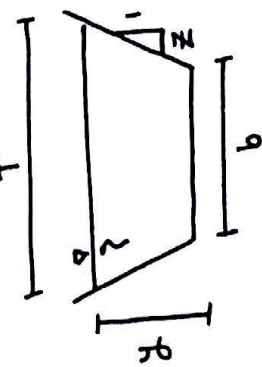
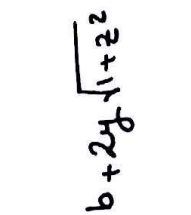
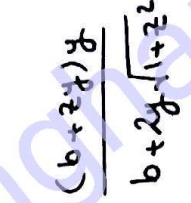
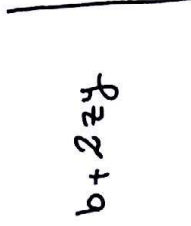
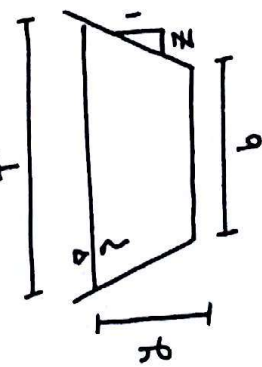
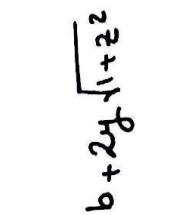
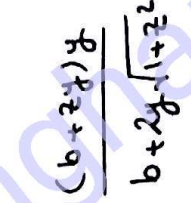
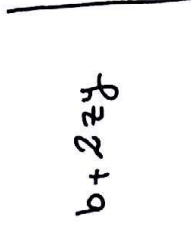
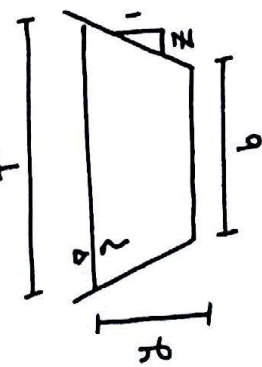
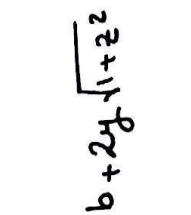
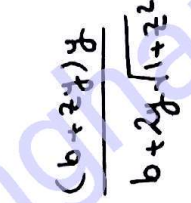
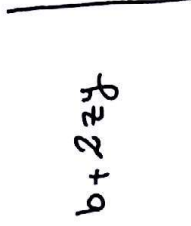
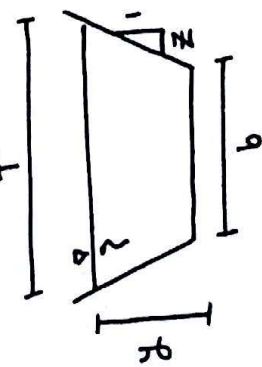
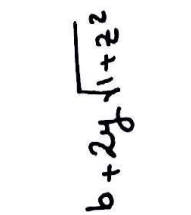
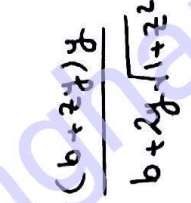
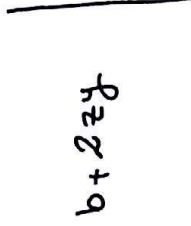
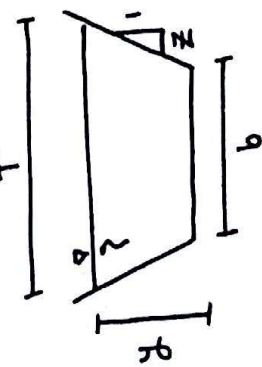
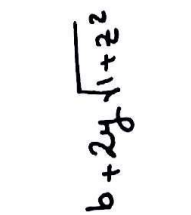
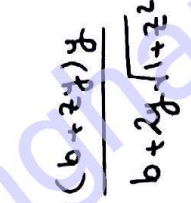
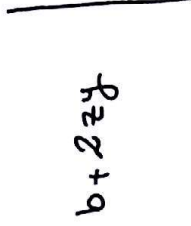
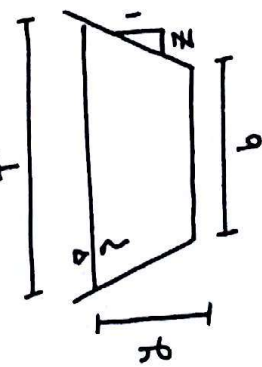
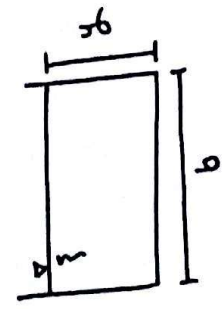
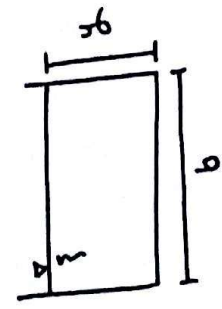
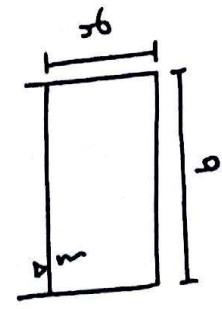
مختصات مرکز
(T)

مختصات
(R)

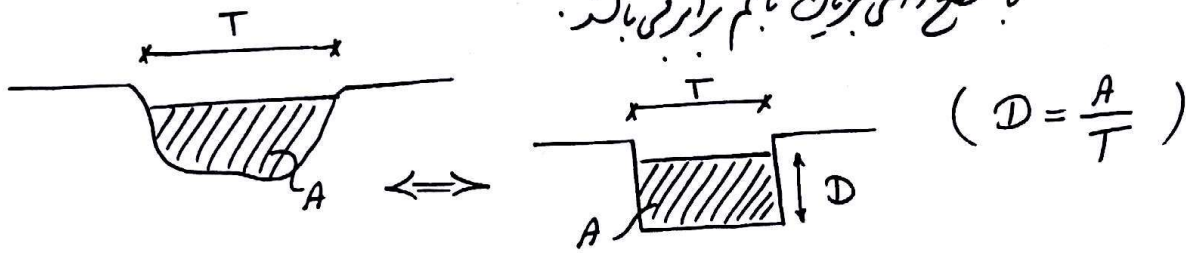
مختصات
(P)

مختصات
(A)

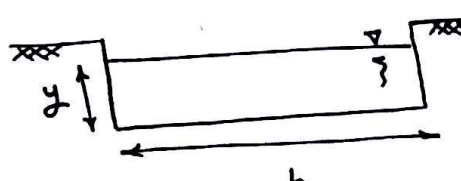
مختصات



۲- مفهوم سطح هیدرولیک: سطح هیدرولیک یکی از کانال متقاطع معادل است که مساحت دوفض سطح آزاد را با سطح اصلی جریان با هم برابر می‌باشد.



۳- مقطع عرضی متقاطع یکی از مقاطع مورد علاقه طراحان است. در این مقاطع عرضی که (b) نسبت به عمق جریان (y) خیلی بزرگ است، با توجه به این ویژگی در این کانال که می‌توان گفت:



$$R = A/p = \frac{by}{b+2y} \approx \frac{by}{b} = y$$

$b \gg y \rightarrow b > 10y \rightarrow$ مقطع متقاطع: $R=y$

نکته: در مثلث: در مقاطع مثلثی و ذوزنق‌ای در نظر دارید که:



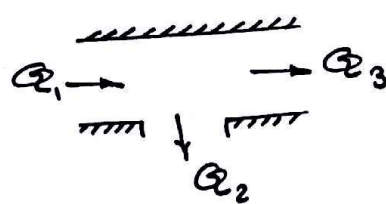
$$z = ct \theta$$

* مفهوم دبی: مقدار حجم آب که در واحد زمان از مقطع عرضی کانال عبور می‌کند، دبی جریان نامیده می‌شود و آن را با "Q" نشان می‌دهند.

$$Q = A \times V$$

↓ m^2 (مساحت) ↓ m/s (سرعت جریان) ↓ m^3/s (دبی)

* مفهوم بویسی: $Q_1 = Q_2 + Q_3$



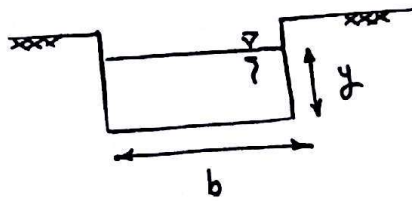
$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out}$$

↓
معادله بویسی

* مهم دبی در واحد عرض: دبی در واحد عرض که آن را با "q" نشان می دهند

$$q = \frac{Q}{b} = v \times y$$

$$\frac{m^3/s}{m} = \frac{m^2}{s}$$



نکته: استیجاب هیدرولیکی (آب بنجی)، در این استیجاب مقدار دبی جریان اندازگی می شود.

* طبقه بندی جریان: (مهم)

طبقه بندی جریان بر اساس تغییرات زمانی، تغییرات مکانی قابل بررسی می باشد.

+ طبقه بندی جریان بر اساس تغییرات زمانی (جریان دائمی و غیر دائمی) (ناپایدار و پایدار)

در هیدرولیک در یک مقطع ثابت موضعی از کانال محلی جریان ثابت به طول تغییر نمی کند، جریان را دائمی می گویند و در غیر این صورت جریان غیر دائمی است.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0 \rightarrow \text{دائمی (ناپایدار)}$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0 \rightarrow \text{غیر دائمی (ناپایدار)}$$

+ طبقه بندی جریان بر اساس تغییرات مکانی (جریان می تواند جریان غیر می تواند) (ناهمبسته و متغیر)

اگر در یک زمان ثابت، در طول کانال تغییرات محلی جریان معادل صفر باشد، جریان می تواند و در غیر این صورت جریان غیر می تواند است.

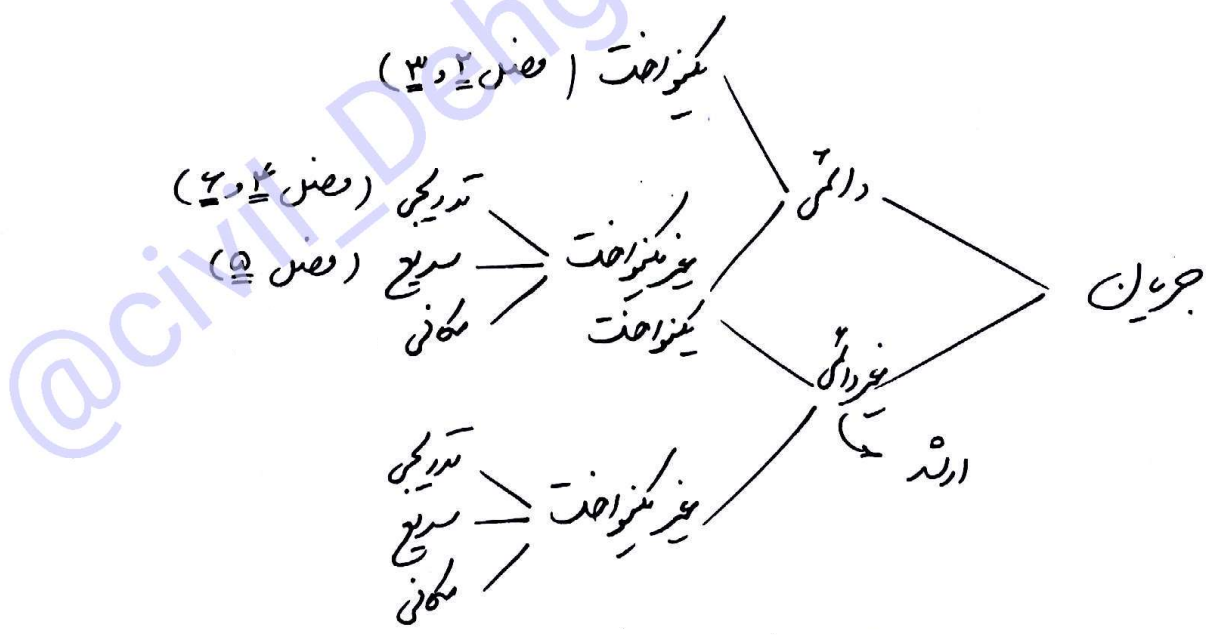
$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0 \rightarrow \text{می تواند}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} \neq 0 \rightarrow \text{غیر می تواند}$$

* جَوَایِ های غیر مَنَوَاجِد به جَوَایِ های مَتَعَرِّز معروف اند و به ۳ رتبه زیر قابل تقسیم است :

- ۱. مَتَعَرِّز تَدْرِیجی : (G.V.F) در هدر تَدْرِیج تَعَرِّزاتی مَعْرِی جَوَایِ بصورت تَدْرِیجی باشد جَوَایِ از نوع مَتَعَرِّز تَدْرِیجی است.
- ۲. مَتَعَرِّز سَبِیج : (R.V.F) در هدر تَدْرِیج تَعَرِّزاتی مَعْرِی جَوَایِ بصورت سَبِیج باشد جَوَایِ از نوع مَتَعَرِّز سَبِیج است.
- ۳. مَتَعَرِّز مَکَانی : (S.V.F) در تقسیم بندی جَوَایِ از نوع مَتَعَرِّز تَدْرِیجی و سَبِیج فرض بر این است که دبی از کانال
 لَمْ نَمَلِ شود و یا به آن اضافه نمی شود . در تراشگی که با تَعَرِّزاتی دبی سرد کار داشته باشیم
 نوع جَوَایِ مَتَعَرِّز مَکَانی است .

* جمع بندی از جَوَایِ های دالَمی - غیر دالَمی و مَنَوَاجِد - غیر مَنَوَاجِد :



* وضعیت جریان در کانال‌های باز:

نزدیک به لایه مرئی

جریان آرام

جریان بینابینی

جریان آشفته

$$Re = \frac{VR}{\nu}$$

$Re = \frac{PVR}{\mu}$
 → نوع هدایت
 (در لوله) → عدد رینولدز

برای جریان‌های ریز

$$\left\{ \begin{array}{l} Re \leq 500 \rightarrow \\ 500 < Re \leq 1000 \rightarrow \\ Re > 1000 \rightarrow \end{array} \right.$$

سرعت
 عدد فرود

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$
 لاگن هیدرولیک

کی ن لے
 برا جڑا ہا کی ازار

$$\left\{ \begin{array}{l} Fr < 1 \rightarrow \text{جوان زیر بحرانی} \\ Fr = 1 \rightarrow \text{جوان بحرانی} \\ Fr > 1 \rightarrow \text{جوان فوق بحرانی} \end{array} \right.$$

* توزیع فشار در کانال ها:

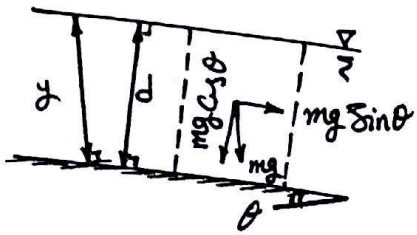
تعریف y : فاصله ای که از سطح آب نسبت به کن کانال نسبت به راستای افق.

تعریف d : عمق جریان.

* $mg \cos \theta$ مؤثر برین دامن قرار

در کن کانال اند و $mg \sin \theta$ به موازات کن کانال دامن جریان اند.

تعریف h_p : هدر فشار در کن کانال.



$$d = y \cos \theta$$

$$P' = \frac{mg \cos \theta}{A} = \frac{\sigma_w \times A \times d \times \cos \theta}{A} \Rightarrow P' = \sigma_w d \cos \theta = \sigma_w h_p \dots$$

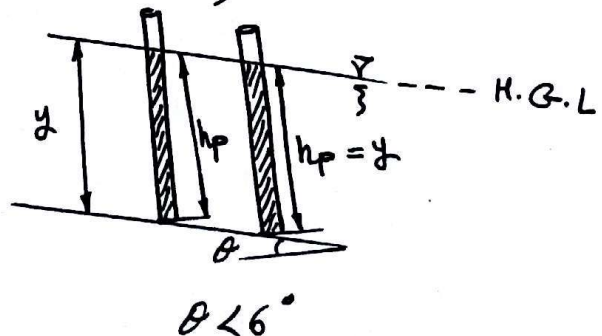
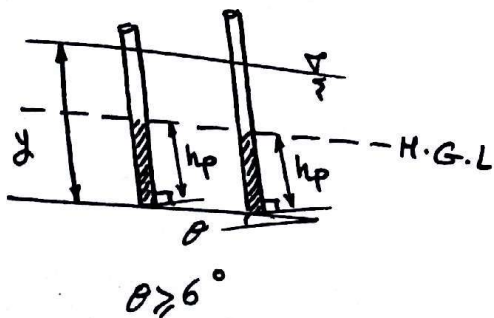
$$\Rightarrow h_p = d \cos \theta = y \cos^2 \theta$$

اگر $\theta \leq 6^\circ$ باشد: $h_p = d = y$

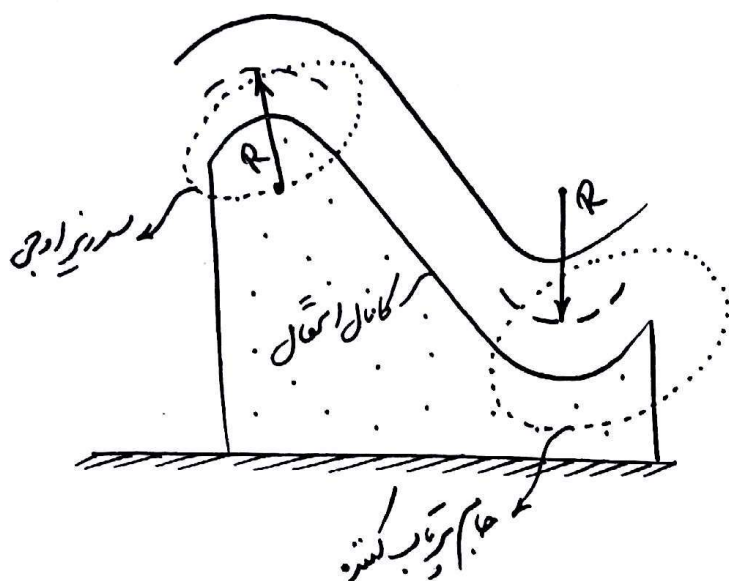
- نکته ی مهم: در صورتیکه $\theta > 6^\circ$ باشد، در کن بهی پائین ترهای هیدرولیک متقاطع عرضی (R.D.T.P.A) به y از d استاندارد می شود.

* بولسی نزدیکتر: وسیله ای اند که به منظور اندازه گیری فشار در یک نقطه مورد استفاده قرار می گیرد در صورتیکه به میزان هدر فشار آب داخل نزدیکتر صعود می نماید.

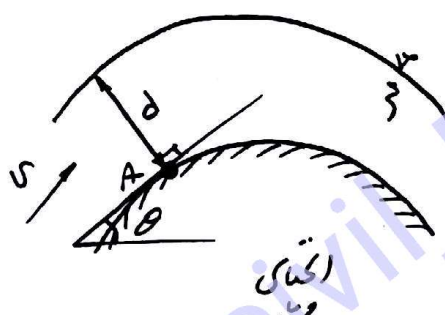
خطی که مکان هندسی سطح آب نزدیکترها را که در نقاط مختلف می باشد تشکیل می دهد خط نیب هیدرولیک نامیده می شود. و با نام H.G.L. (خط نیب هیدرولیک) (نزدیکتر باید همودر استاتیکی افقی باشد)



* توزیع فشار در سرریز در جام برآب گشته :



R: نتایج اکتیو متر



$$h_{pA} = d \cos \theta - C$$

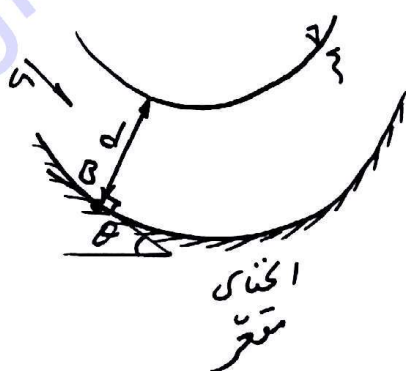
هدایتیک هدایتیک

نتایج اکتیو متر

نتایج اکتیو متر

$$C = \frac{v^2 d}{Rg}$$

نتایج اکتیو متر



$$h_{pB} = d \cos \theta + C$$

هدایتیک هدایتیک

* بهر حال "C" که هدایتیک "ناقص می شود به علت نیروی ناشی از خیز از سرریز است و در فشار ثابت نگه دارد.

* در می بین فشار هدایتیک، تنها وزن سیال را در نظر گرفته می شود که به آن هدایتیک نیروی جاذبه

و مقدار آن معادل $d \cos \theta$ است.

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

فصل دوم: جریان یکنواخت

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

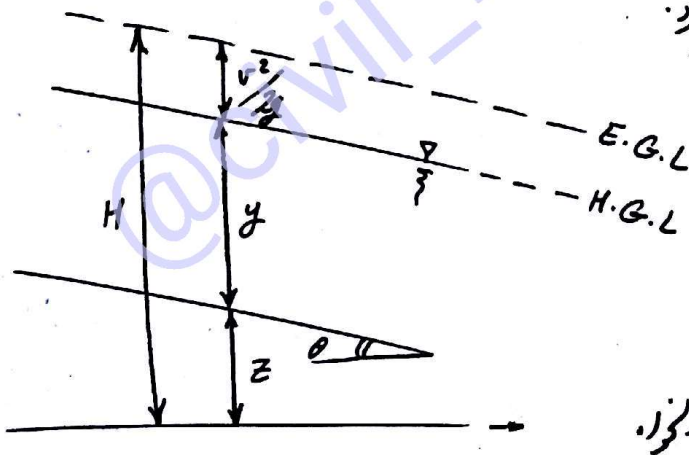
منحنی درم هیدرولیک: جریان منکواهد.

مطابق با آنکه در این منحنی از آن می شود مسائل موارد زیر است:

- ۱- عامل جریان
- ۲- کانال منتهی در کانال منتهی
- ۳- جریان منکواهد
- ۴- محاسبی سرعت متوسط جریان
- ۵- محاسبی سرعت برشی
- ۶- محاسبی تنش برشی متوسط دارد در هیدرولیک کانال
- ۷- از این به بعد در تمام منحنی که $\theta \leq 6^\circ$ HGL منطبق بر سطح آب

۱ = عامل جریان

تعریف خط E.G.L: یک خط به موازات خط H.G.L و به اندازه سرعت $(\frac{v^2}{2g})$ بالاتر از خط H.G.L قرار میگیرد.

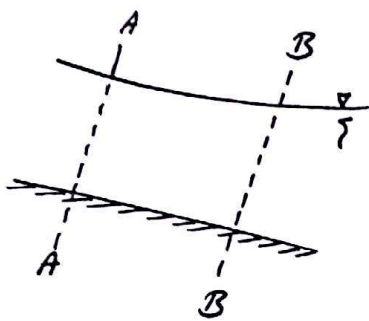


سطح منبسطی در مجرای

تعریف انرژی کل در یک مقطع:

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

مقدار انرژی در واحد وزن مایع که نسبت به یک سطح منبسطی افقی تعیین می شود، عبارت از انرژی کل نامیده می شود. E.G.L از سطح منبسطی است.

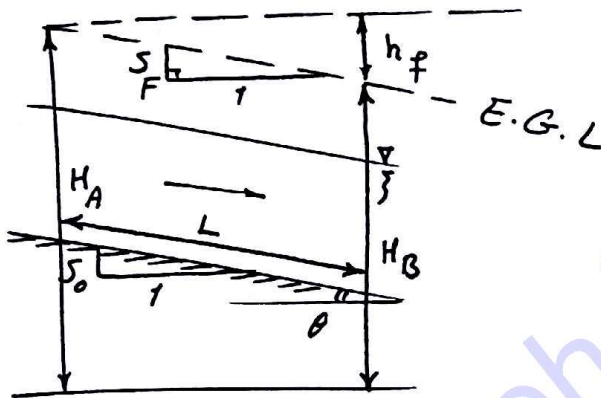


تعیین جهت حرکت:

$H_A > H_B$: از A به سمت B

$H_A = H_B$: حرکتی اتفاق نمی افتد.

$H_A < H_B$: از B به سمت A



معادله ی بقای انرژی:

$$H_A > H_B \Rightarrow H_A = H_B + h_f$$

کوتاه تر از انرژی

تعیین شیب خط انرژی:

شیب کانال $\rightarrow$

$$S_o = \tan \theta = \sin \theta = \theta \text{ rad} > 0$$

شیب خط انرژی: $S_F = \frac{h_f}{L} > 0$

نکته ی بیار مهم: در صورتی که حرکت وجود داشته باشد، در جهت جریان، مقدار انرژی کل نقاط کاهش می یابد و انتگرال وجود دارد.

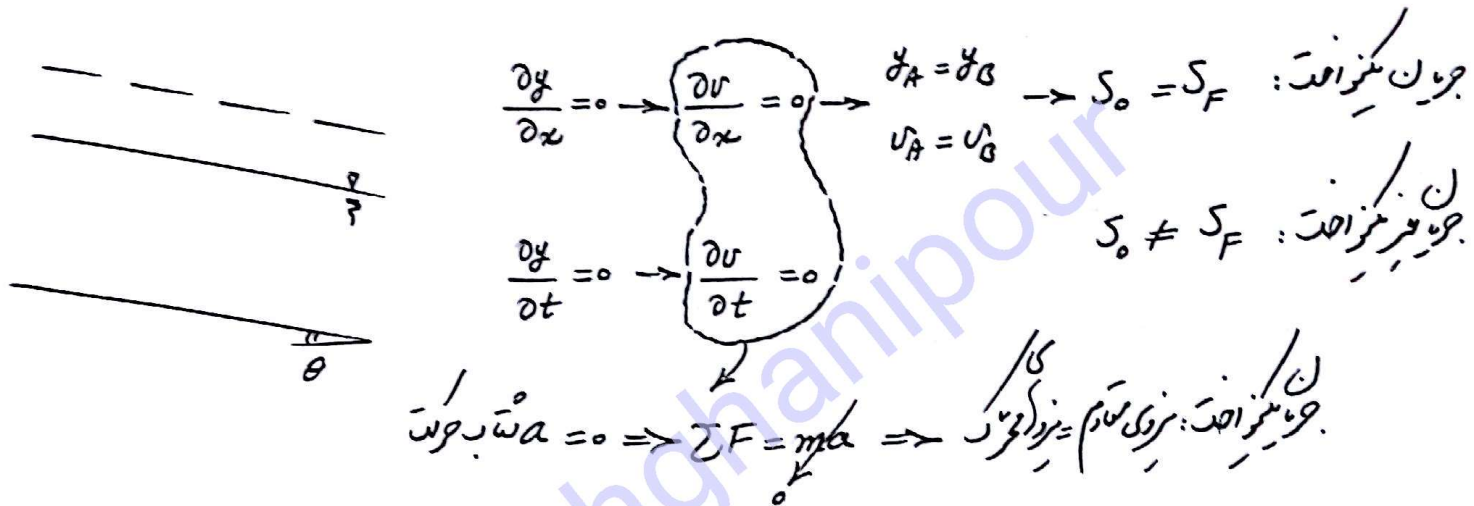
۲ کانال منتهی به کانال غیر منتهی:

کانال منتهی: کانالی که در عرض مقطع عرضی، سطح مقطع جریان در جنبه ی پهن شدن ثابت باشد.

کانال غیر منتهی: کانالی که در عرض مقطع عرضی، سطح مقطع جریان در جنبه ی پهن شدن متغیر باشد.

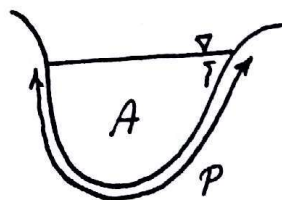
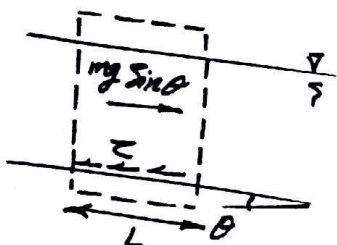
۳. جريان كنواخت:

در اين فصل جريان را نتيجه كنواخت مورد بررسي قرار ميدهيم و در اين بخش جريان غير دالتي كنواخت (افردي قبح) و در صورت در طبيعت يافتني شود. در جريان دالتي كنواخت (مطلوبه جريان كنواخت يا جريان نرالي ميگویند).
جريان كنواخت تنها در كانالهاي منتهوي (محدود) تشكيل دارد.



• تعریف عمق نرالي:

در هیدرولیک در یک کانال منتهوي، جريان كنواخت برقرار باشد، عمق جريان در تمام زیر مقطعهاي هیدرولیک با هم برابر است و در اين شرائط به عمق جريان، عمق نرالي ميگویند.



۴. مابدي كنش برشي دارد در هيدر كانال:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau = \sigma R S_o \quad \text{جريان كنواخت} \\ \tau = \sigma R S_F \quad \text{جريان غير كنواخت} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{aligned} u_* &= \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \\ \tau &= \rho g \end{aligned} \right\} u_* = \sqrt{g R S_F} \quad (S_F = S_0 \text{ اگر عرض متوسط بود})$$

۴ محاسبه سرعت متوسط جریان:

• رابطه‌ی مشرقی: این رابطه از روابط ریاضی بدست آمده و تقریبی است و فاقد دقت بالایی برای این رابطه است.

$$V = C \sqrt{R S_F} \quad \text{واحد } C: m^{1/2} \cdot s^{-1}$$

تعیین ضرایب: C ضریب تجربی، R شعاع هیدرولیکی، S_F شیب خط انرژی

• رابطه‌ی مانینگ: این رابطه‌ی تجربی از اندازه‌گیری انجام شده در رودخانه‌های طبیعی بدست آمده است.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_F^{1/2} \quad \text{واحد } n: m^{-1/3} \cdot s$$

تعیین ضرایب: n ضریب مانینگ، R شعاع هیدرولیکی، S_F شیب خط انرژی

نوع کانال	بدون پوشش طبیعی	با پوشش	مدل هیدرولیکی		
نوع پوشش	خاک	شن	سنگ	بتن	پلاستیک - شیشه ای
n	0.025	0.035	0.04	0.015	0.009

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

فصل سوم: طراحی کانال

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

فصل دوم هیدرولیک: طراحی کانال.

سواری که در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد شامل مباحث زیر است:

- ۱- مقطع هندسی هیدرولیکی
- ۲- مقطع هندسی تقسیمی
- ۳- مقطع هندسی ذوزنده ای بابت مقسّم
- ۴- مقطع هندسی دایره ای
- ۵- مقطع هندسی مثلثی
- ۶- مقطع هندسی ذوزنده ای بابت نامقسّم

۱- مقطع هندسی هیدرولیکی:

مقطع هندسی هیدرولیکی مقطع است که تحت مبحث ثابت، تحت جریان عبوری از کانال به حد انفرمته اورد برسد. تغییرات در ضریب زبری مانند (n) و لب کانال (S) غیر انتقادی است زیرا این پارامترها به سرعت به همبستگی بستند و همچنین تحت مبحث رودخانه دائمی است. از طرفی همواره حجم کاربری مقسّم است.

با توجه رابطه زیر، تحت مقطع، لب کانال، ضریب زبری با توجه به ماسه انتقادی ثابت در نظر گرفته می شود.

بنابراین مقطع هندسی هیدرولیکی مقطع است که تحت مبحث ثابت، تحت هیدرولیکی مقطع ماکزیمم

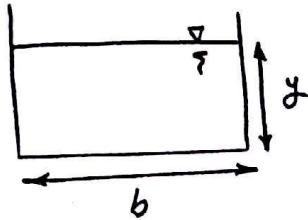
و محاسبه چنین نمی شود. نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که در یک کانال در صورت هندسی طراحی نداشت، صورتی پیش به خاطر محاسبه چنین کمتر، کاهش می یابد.

$$\max \uparrow C = \uparrow V(A)$$

$$\max \uparrow V = \frac{1}{(n)} \uparrow R^{2/3} (S)^{1/2}$$

$$\max \uparrow R = \frac{(A)}{P} \downarrow \min$$

۲- مقطع هندسی مستطین:



$$A = by \Rightarrow b = \frac{A}{y}$$

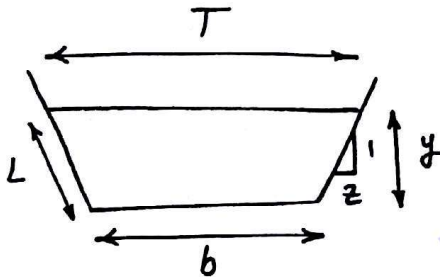
$$P = b + 2y = \frac{A}{y} + 2y$$

$$\frac{dP}{dy} = -\frac{A}{y^2} + 2 = 0 \Rightarrow A = 2y^2 \Rightarrow b = 2y$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{2y^2}{4y} = \frac{y}{2}$$

$$\int R = \frac{y}{2}$$

۳- مقطع هندسی زوزنقه ای با لبه مستقیم: (مقدار z ثابت است)



$$A = (b + zy)y \Rightarrow b = \frac{A}{y} - zy$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} = \frac{A}{y} - zy + 2y\sqrt{1+z^2}$$

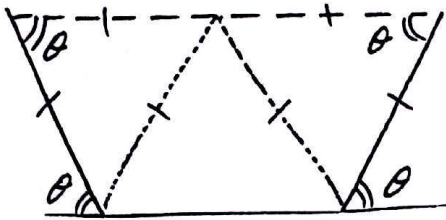
$$\frac{dP}{dy} = -\frac{A}{y^2} - z + 2\sqrt{1+z^2} = 0$$

$$\Rightarrow A = (2\sqrt{1+z^2} - z)y^2$$

$$(b + yz)y = (2\sqrt{1+z^2} - z)y^2 \Rightarrow \underbrace{b + 2yz}_T = \underbrace{2y\sqrt{1+z^2}}_L \Rightarrow T = 2L$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\left(\frac{T+b}{2}\right)y}{T+b} \Rightarrow \int R = \frac{y}{2}$$

۴ - مقطع پهنه زوزناده ای بایک نامعین:



* در صورتیکه باید مقطع زوزناده ای بایک نامعین

سرکار داشته باشیم و بخواهیم این مقطع را پهنه

کنیم، مقطع پهنه از ۳ قسمت مساوی در مقطع
تقسیم شد.

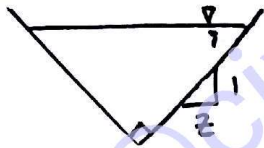
$$P = \frac{A}{y} - yz + 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$\frac{dP}{dz} = 0 - y + 2y \frac{2z}{2\sqrt{1+z^2}} = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{1+z^2} = 2z \Rightarrow 1+z^2 = 4z^2$$

$$\Rightarrow |z| = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad \angle \theta = 60^\circ$$

۵ - مقطع پهنه ای شیبی:



$$A = y^2 z \Rightarrow y^2 = A/z$$

$$P = 2y\sqrt{1+z^2} \Rightarrow P^2 = 4y^2(1+z^2)$$

$$P^2 = 4A/z(1+z^2) = 4A/z + 4Az$$

$$\underbrace{2P \frac{dP}{dz}}_{=0} = -4A/z^2 + 4A \Rightarrow |z| = 1 \quad \angle \theta = 45^\circ$$

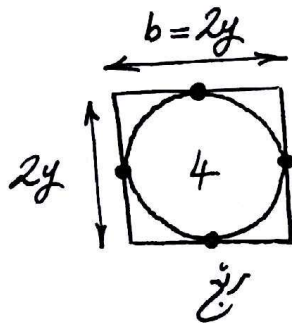
$$R = \frac{A}{P} = \frac{y^2 z}{2y\sqrt{1+z^2}} = \frac{y}{2\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow |R| = \frac{y}{2\sqrt{2}}$$

۴- مقطع ایمنه دایره‌ای :

هر عمده دایره‌ای که بر بخش می‌طبی شود، تعداد اضلاع بیشتری دارد و بر می‌گیرد، مقطع ایمنه تراکت. بنابراین مقطع دایره‌ای از مقطع شش و متعادل هموار ایمنه تر می‌باشد. عبارت دیگر این چنین می‌توان گفت هر چه تعداد اضلاع بیشتر باشد، دایره می‌طند. نیز تعداد اضلاع بیشتر را در بر می‌گیرد.

لحظه‌ای، نمایی از دایره‌ای می‌باشد که مقطع ایمنه است. این مقطع هم در شکل محسوب می‌شود و آن از نظر اجزای کانال دایره‌ای در نظر است به همین علت از کانال دایره‌ای ایمنه است و در می‌شود.



$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2 / 2}{\pi r} = r/2 = y/2$$

نکته: در کانال شش ایمنه دایره‌ای زیر برقرار است :

$$\Delta : \textcircled{1} = \frac{y}{2} \Rightarrow \textcircled{1} = \sqrt{2} R = \frac{y}{2}$$

$$\text{ایمنه } R = \frac{y}{2\sqrt{2}}$$

نکته: در هر دو مقطع در متوالی ذکر شود یکی زنانه، یعنی چپ می‌خواهد راست و $S_F = S_0$.

نکته: در طراحی کانال ها به روش مقطع ایمنه، نسبت کنی کانال (بی)، ضریب زبری مانس (n)، سرعت (A)، ثابت فرض می‌شود (یا چپ) (بی چپ) ثابت فرض می‌شود.

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

فصل چهارم: انرژی مخصوص

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

مضامین چهارم هیدرولیک : انرژی مخفی

آنچه در این فصل خواهیم خواند به شرح زیر است :

۴- کاربرد انرژی مخفی

۱- تعریف و مفاهیم اولیه انرژی مخفی

۵- تعریف تبدیل مکانی

۲- مکنی انرژی مخفی

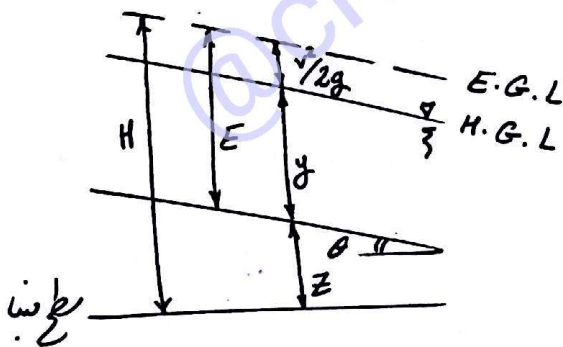
۶- مکنی دبی

۳- محاسبه مکنی مکانی و انرژی مکانی

۱- تعریف و مفاهیم اولیه انرژی مخفی :

* انرژی کل (H) : انرژی در واحد وزن سیال که نسبت به یک سطح منبکی افقی در کما استجده می شود .

* انرژی مخفی (E) : انرژی در واحد وزن سیال که نسبت به یک کانال استجده می شود .



$$\theta \leq 6^\circ$$

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

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

* ماضی خط E.G.L. تا یک کانال معادل انرژی مخفی آن سطح است .

* رابطه‌ی مهم بین E (انرژی مخفوف)، y (عمق جریان)، Fr (عدد فرود جریان):

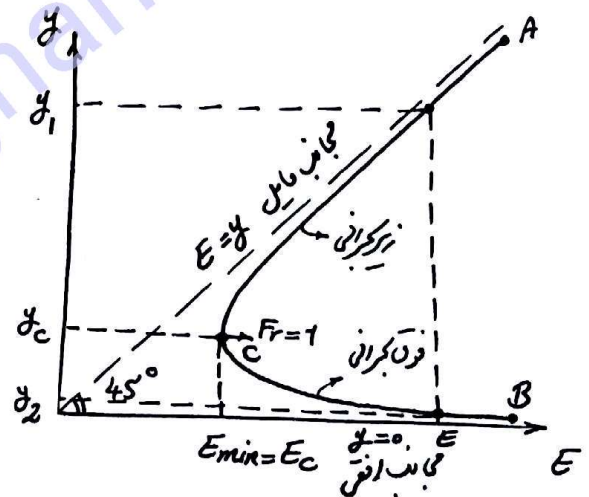
$$\frac{E}{y} = 1 + 0.5 Fr^2 \quad \text{در کانال مسطح}$$

$$\frac{E}{y} = 1 + 0.25 Fr^2 \quad \text{در کانال مستطی}$$

۲ منحنی انرژی مخفوف: $(E-y)$ به ازای یک دبی معین، انرژی مخفوف تابع از عمق جریان است و می‌توان منحنی انرژی مخفوف $E-y$ را ترسیم کرد.

$$E = y + \frac{Q^2}{2g(A^2)} \quad \text{دبی ثابت}$$

(y_1 و y_2 همان متناوب هستند)

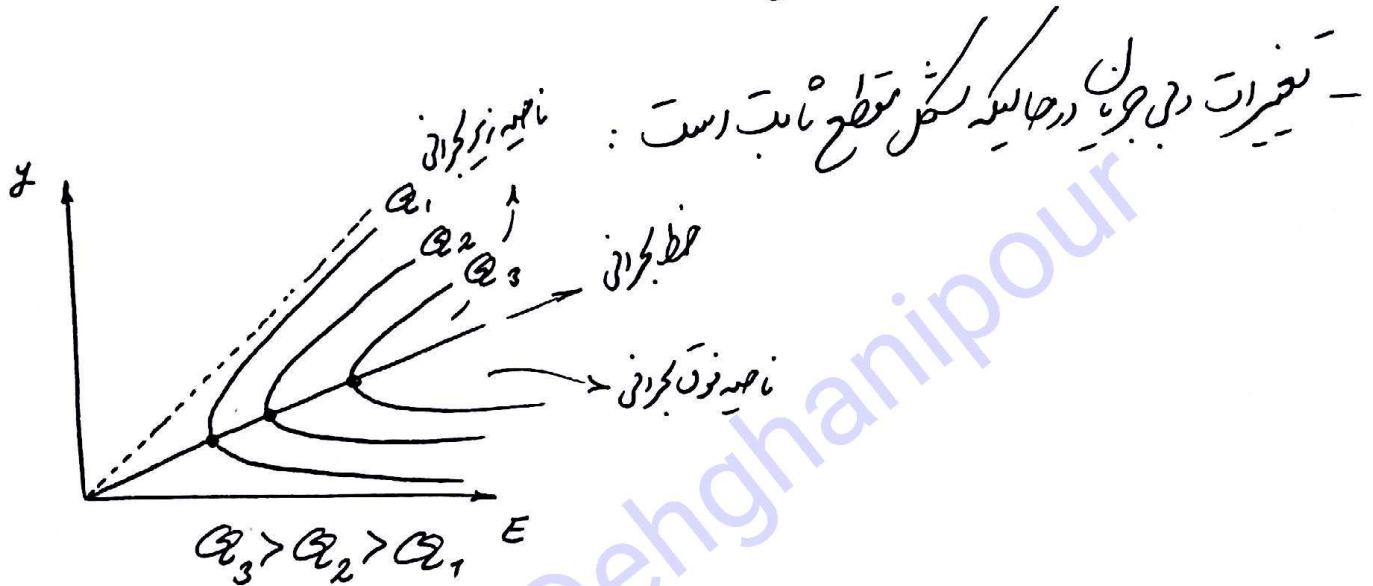


* نکات منحنی انرژی مخفوف:

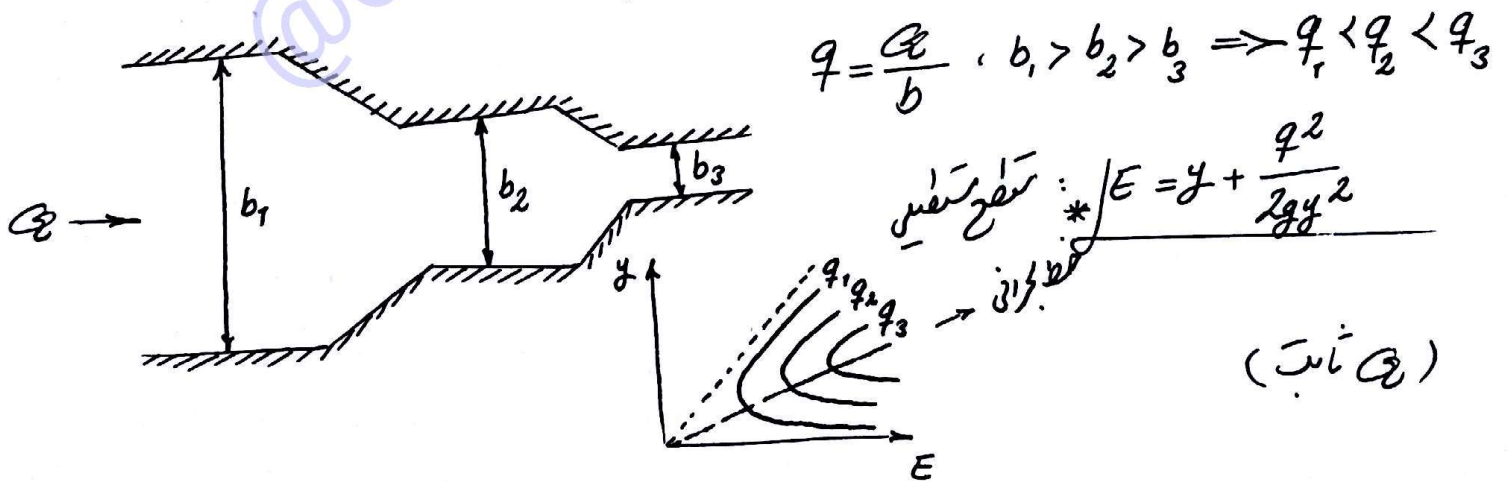
- ۱- منحنی دارای یک جانب افقی ($y=0$) و یک جانب عمودی ($E=y$) است.
- ۲- منحنی انرژی مخفوف دارای یک شاخه‌ی فوق بحرانی (BC) و یک شاخه‌ی زیر بحرانی (AC) است.
- ۳- منحنی انرژی مخفوف در یک نقطه دارای انرژی حداقل است. در این نقطه، عمق جریان، عمق بحرانی نامیده می‌شود و آن را با (y_c) نمایش می‌دهند. همگنی انرژی در این نقطه Min است و آن را با $(E_c \text{ یا } E_{min})$ نمایش می‌دهند. در این نقطه شرایط بحرانی بر کانال حاکم است و عدد فرود معادل ۱ می‌باشد.
- ۴- به ازای یک مقدار انرژی ثابت در عمق جریان y_1 و y_2 در شاخه‌ی زیر بحرانی و فوق بحرانی دلوها دارد که به آن‌ها همان متناوب می‌گویند.

* نکته: در بخشی انرژی محفوض ناهمبسی جانبی و همبسی معادل $\frac{v^2}{2g}$ است.

* نکته: اگر شکل مقطع و تعداد دبی چون ثابت باشد، همبسی انرژی محفوض، واحد است، حال اگر یکی از این ۲ پارامتر تغییر یابد، همبسی انرژی محفوض دیگر ثابت نیست.



- تغییرات شکل مقطع کانال مستطی، در حالیکه دبی چون ثابت است:



۳ محاسبه ی عمق بحرانی و انرژی بحرانی :

عمق بحرانی، عمق ای است که به ازای آن انرژی کمترین مقدار ممکن را دارد. به منظور محاسبه ی عمق بحرانی و انرژی بحرانی کافی است از روابط زیر استفاده کرد.

$$Fr^2 = \frac{Q^2 T}{A^3 g} \xrightarrow[\text{ترابط بحرانی}]{Fr=1} \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

برای به دست آوردن عمق بحرانی استفاده کرد :

$$* \int E_c = y_c + \frac{D_c}{2} \quad : \quad \text{در تمامی مقاطع} \quad D_c = \frac{A_c}{T_c}$$

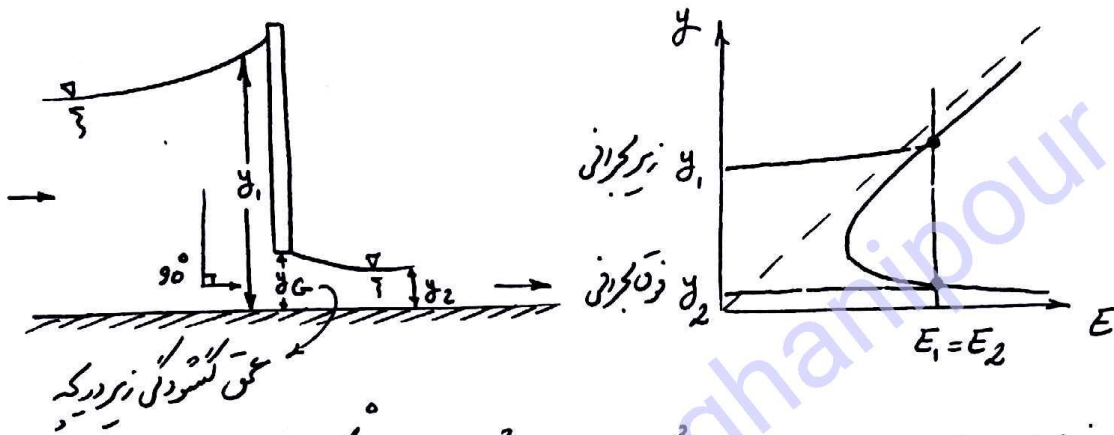
رابطه ی بین تمامی مقاطع، ۲ مقطع شیب و مشخص کردن عمق بحرانی است که می توان در مورد این ۲ مقطع به روابط زیر دست یافت :

$$\text{کانال مستطین} \rightarrow * \int y_c = \left(\frac{Q^2}{g} \right)^{1/3} , * \int E_c = \frac{3}{2} y_c$$

$$\text{کانال مثلثی} \rightarrow * \int y_c = \left(\frac{2Q^2}{g z^2} \right)^{1/5} , * \int E_c = \frac{5}{4} y_c$$

۴ کاربرد انرژی مخصوص:

* افتان متادوب: در هر دو مقطع از مقطع موافق خروج آب از زیر دریک هر مقدار افتان که می توان گفت که می باشد پس در هر دو دریک معادل افتان متادوب است و مقدار انرژی در این ۲ مقطع با هم برابر است.



* نکته: آب در چرخش 90° می تواند است. و مقدار انرژی منفرجه می شود (مکزی دونا)

$$E_1 = E_2 + h/L : y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

"Vena"

* نکته: هزید منفرجه دریک (C) در آنجا برای هر مقطعی قابل برآورد است و مقدار آن همواره از 1 کمتر باشد.

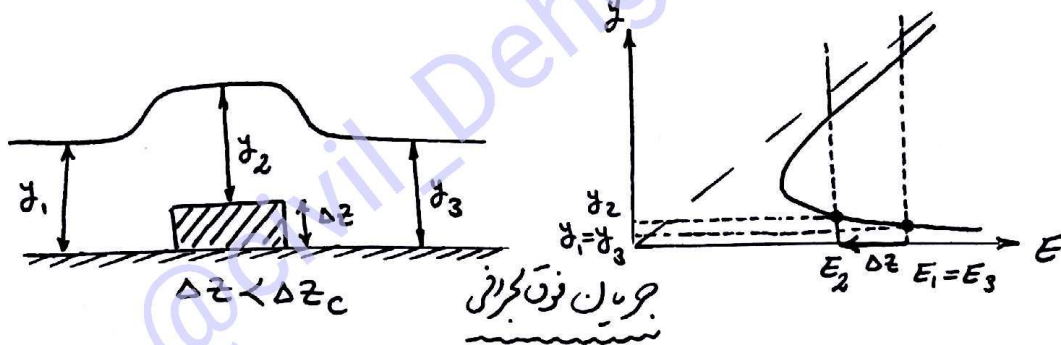
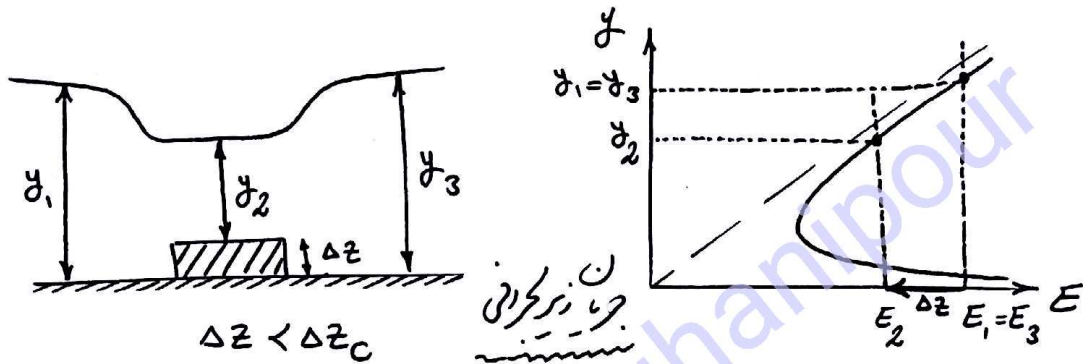
آن در هر دو دریک در مقدار C ارائه شد آن را 1 در تقویم می نامیم.

$$y_2 = C_c y_G$$

↓
هزید منفرجه دریک

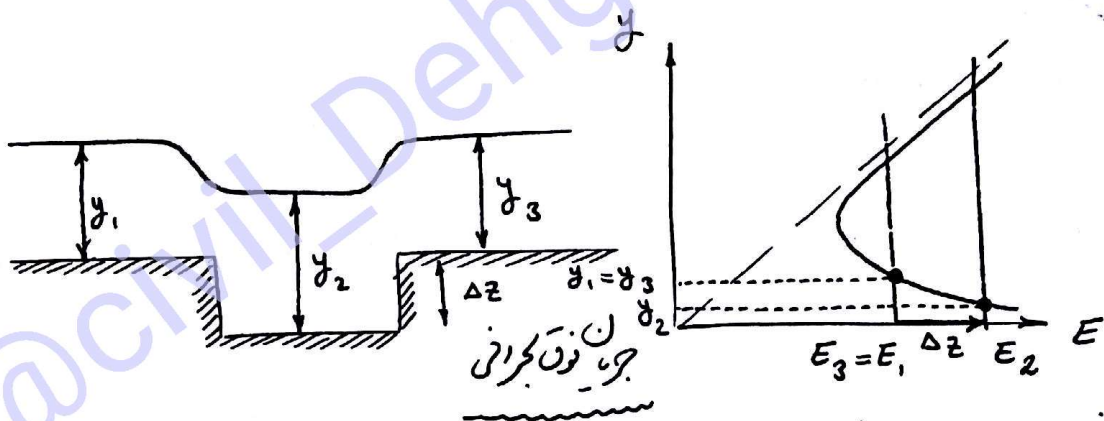
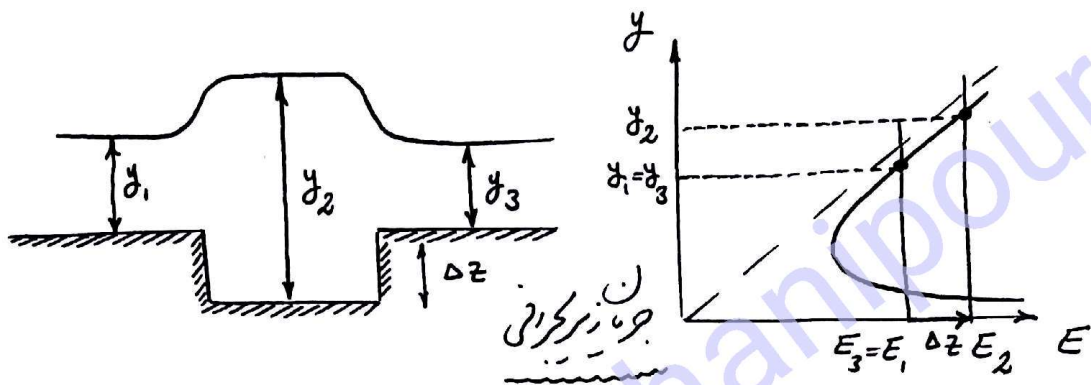
* تغییرات موضعی سطح آب ناشی از برآمدگی در مسیر کانال:

اگر در مقطع جریان برآمدگی به میزان Δz ایجاد شود، به میزان Δz در جریان افت انرژی ایجاد می شود.
 اگر جریان زیر بحرانی باشد، سطح جریان در ارتفاع آب در محل برآمدگی کاهش می یابد.
 اگر جریان فوق بحرانی باشد، سطح جریان در ارتفاع آب در محل برآمدگی افزایش می یابد.



* تغییرات موضعی سطح آب ناشی از فرودش در سترکانال:

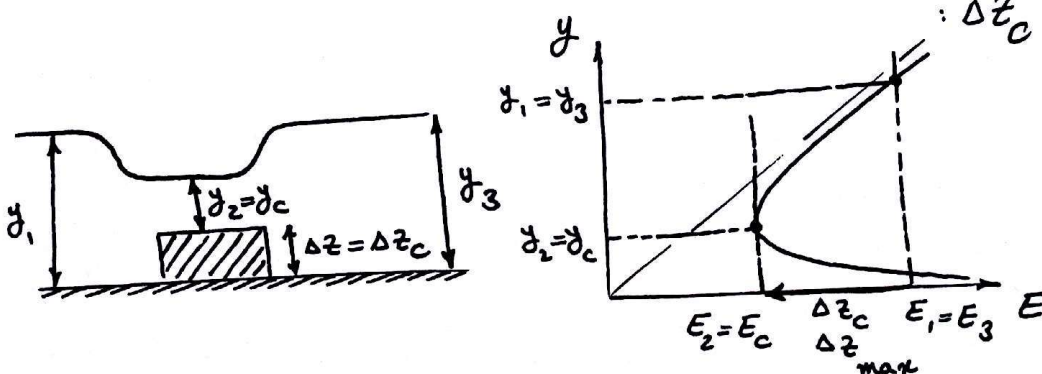
اگر در کانال جریان به میزان Δz فرودش ایجاد شود، به میزان فرودش (Δz) به انرژی مخصوص افتاده می شود.
 اگر جریان زیر بحرانی باشد در محل فرودش سطحی که جریان در آن سطح آب اترانس می یابد.
 اگر جریان فوق بحرانی باشد در محل فرودش سطحی که جریان در آن سطح آب کاهس می یابد.



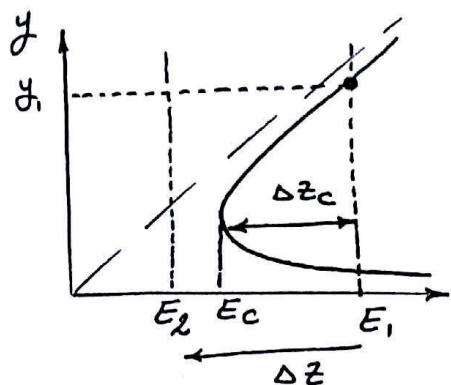
* استاندارد: * (برای جریان های زیر بحرانی بررسی می شود)

استدادهای درجه معادله استاندارد که برای آن استاندارد، معادله ای برای بدین شکل در این زمینه دارند قبل از بررسی این معادله باید به معادله Δz_{max} توجه نمود:

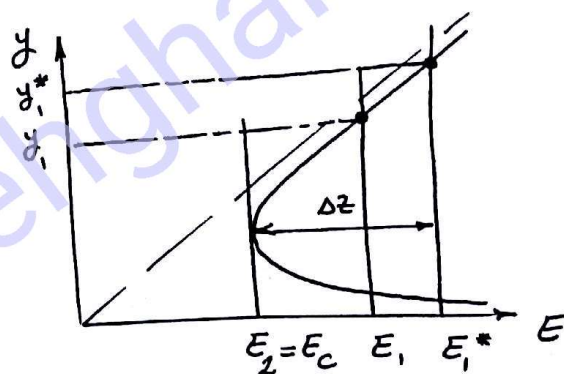
- معادله Δz_{max} و Δz_c :



* مفهوم انسداد : اگر Δz از Δz_{max} بزرگتر شود، در این شرایط مقدار E_2 از E_{min} کمتر می شود و خط E_2 هیچ نقطه ای از منحنی انرژی محفوظ را قطع نمی کند.

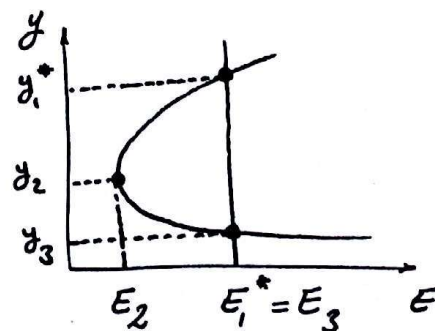
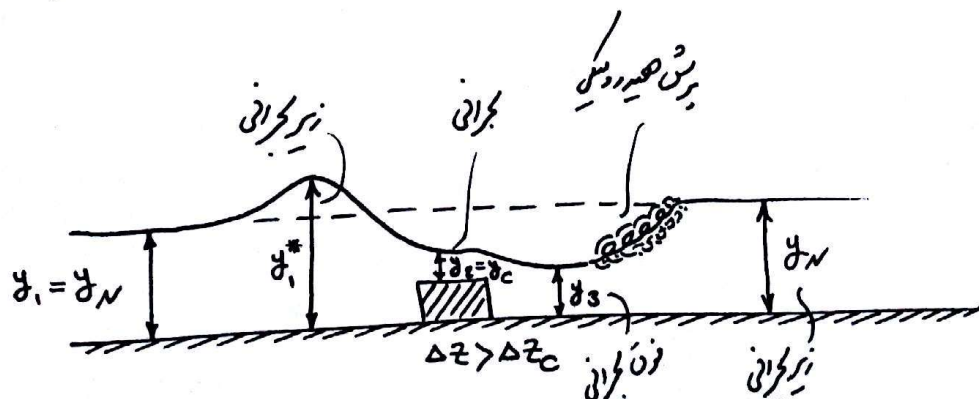


در این شرایط پدیده انسداد اتفاق می افتد و با تغییراتی که در این شرایط پدید می آید، در بالا دکت نمی براندگی انرژی دکت جریان افراس می باید، همچنین سطح جریان در کل براندگی معادل نمی گزینی و انرژی در این محل، معادل انرژی بحرانی است.



تغییرات بعد از عبور از براندگی Δz در شرایط که اندازه دهی دارد :

در هر دو اندازه انحنای منحنی، در بالا دکت نمی براندگی با افزایش انرژی محفوظ سرگردارم به همین علت بعد از محل براندگی سطح جریان به سرعت و سطح منسوب y_3 می باشد و از آنجایی که سطح y_3 یک سطح فون بحرانی است می تواند با یک برش هیدرولیک به سطح y_1 برسد.

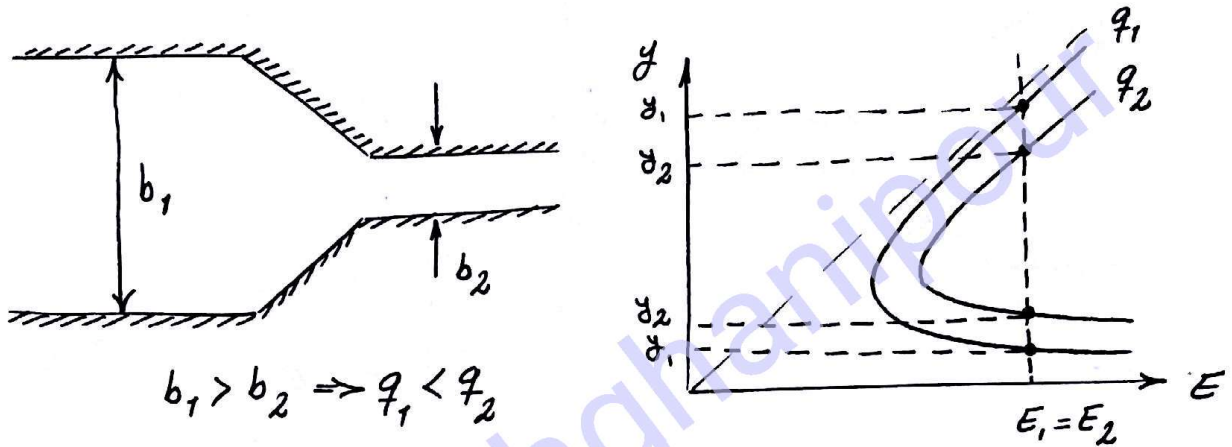


y_1 و y_3 این منسوب هستند.

* تغییرات سطح آب ناشی از تغییرات در عرض کنال مستطین :

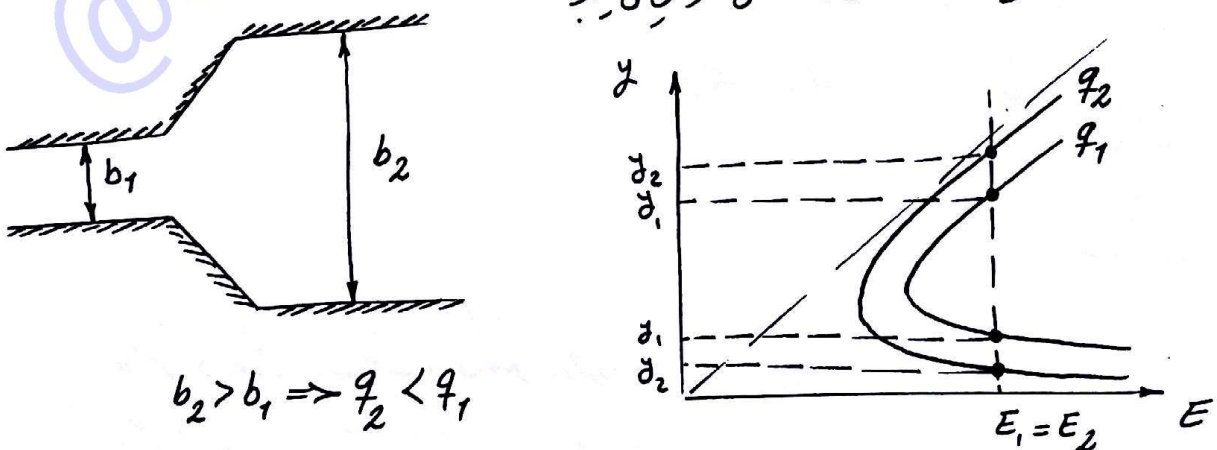
کاهش عرض کنال :

در این شرایط اگر جریان فوق بحرانی باشد، سطح دراز سطح آب در محل تنگ شدنی، افزایش می یابد و در هر دو سک جری زیر بحرانی باشد سطح دراز سطح آب در محل تنگ شدنی کاهش می یابد.



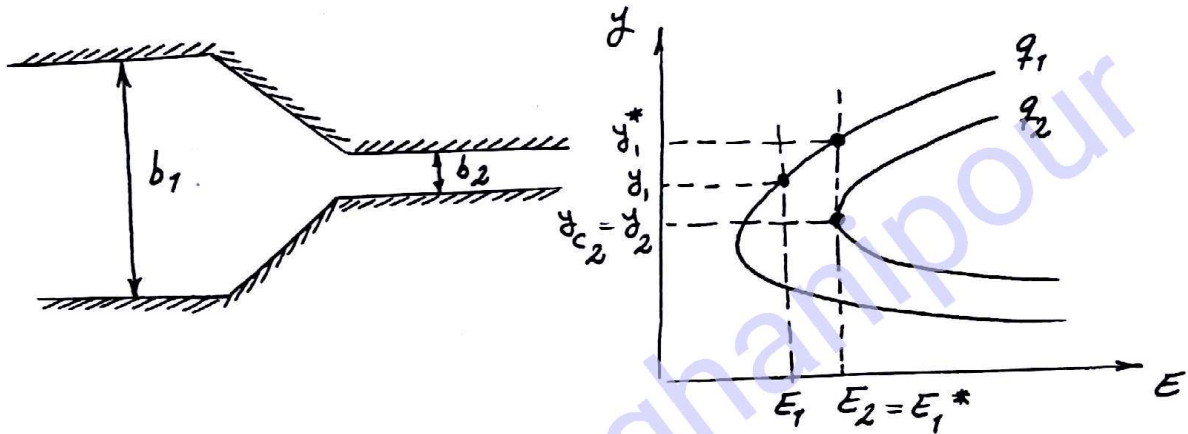
افزایش عرض کنال :

در این شرایط اگر جریان فوق بحرانی باشد، سطح دراز سطح آب در محل باز شدنی کاهش می یابد و در هر دو سک جری زیر بحرانی باشد سطح دراز سطح آب در محل باز شدنی افزایش می یابد.



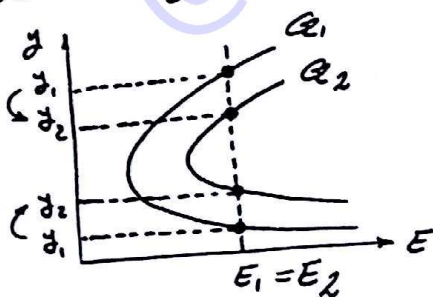
* پیرامون انداد در اثر کاهش عرض کانال تسطیح :

اگر عرض کانال در برزنج کاهش یابد خط تالم انرژی، بخشی مربوط به q_2 را در هیچ نقطه ای قطع ننماید. در این شرایط مقدار انرژی محفوظ افزایش یافته تا حد آن یک نقطه از q_2 که معادل نقطه بحرانی مقطع E_1 است را قطع کند. بنابراین در این شرایط، انرژی دراز سطح آب در بالا آمدن منتهی شد. افزایش یافته و در حالت تنگ انرژی ممکن به صورت بحرانی است.

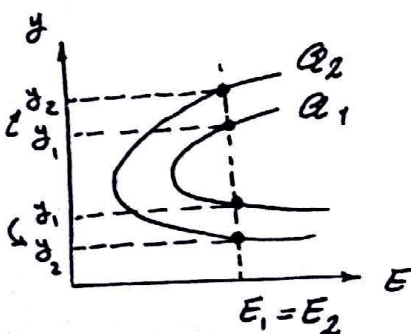


* تغییرات سطح آب ناشی از جریان متغیر مکانی : (در جریان متغیر مکانی می توانیم ساده کنیم. و به دو مورد که مقدار انرژی ثابت است) - افزایش دبی جریان : مانند بازنگری بر روی سطح کانال.

اگر جریان فوق بحرانی باشد، حتی دراز سطح آب افزایش در هر دو مورد جریان زیر بحرانی باشد حتی دراز سطح آب کاهش می یابد.



- کاهش دبی جریان : مانند تنگ کردن کانال، و به دو مورد جریان زیر بحرانی و جریان فوق بحرانی. اگر جریان فوق بحرانی باشد حتی دراز سطح آب کاهش در هر دو مورد جریان زیر بحرانی باشد حتی دراز سطح آب افزایش می یابد.



۵ تعریف سب بحرانی :

* معرفی سب نزاع :

$$y = y_n \rightarrow S_F = S_o = S_n$$

لے سب نزاع.

* معرفی سب بحرانی :

$$y = y_c \rightarrow S_F = S_c$$

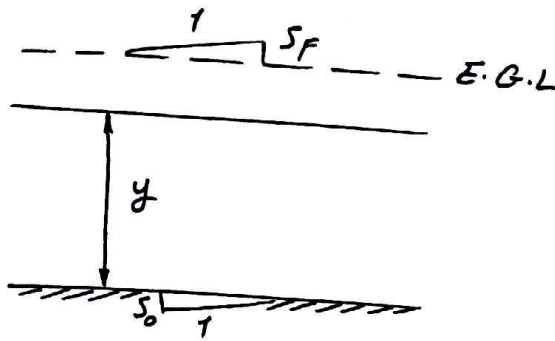
لے سب بحرانی

* معرفی سب نزاع بحرانی :

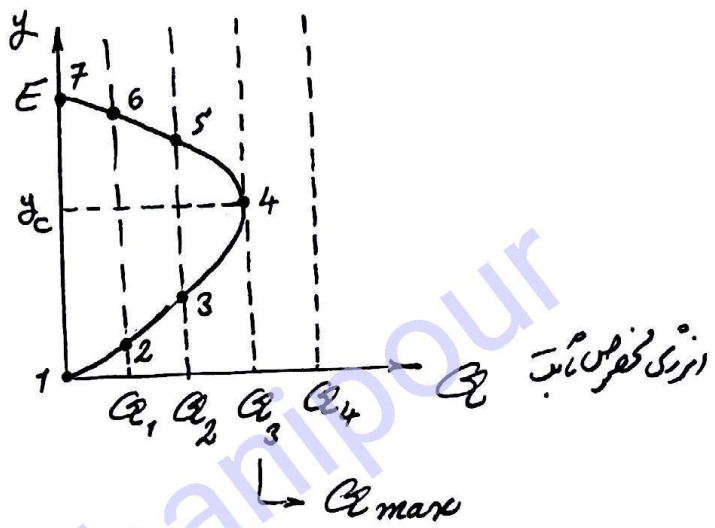
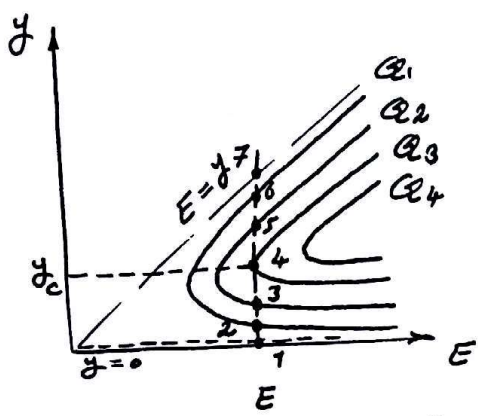
$$y = y_c = y_n \rightarrow S_F = S_o = S_c$$

$$\rightarrow S_F = S_{cn}$$

لے سب نزاع بحرانی



به ازای یک مقدار ثابت انرژی مخصوص، می توان گفت تغییرات دبی (حجم)، را بصورت تابع از سطحی جریان (یا) بصورت زیر بیان کرد:

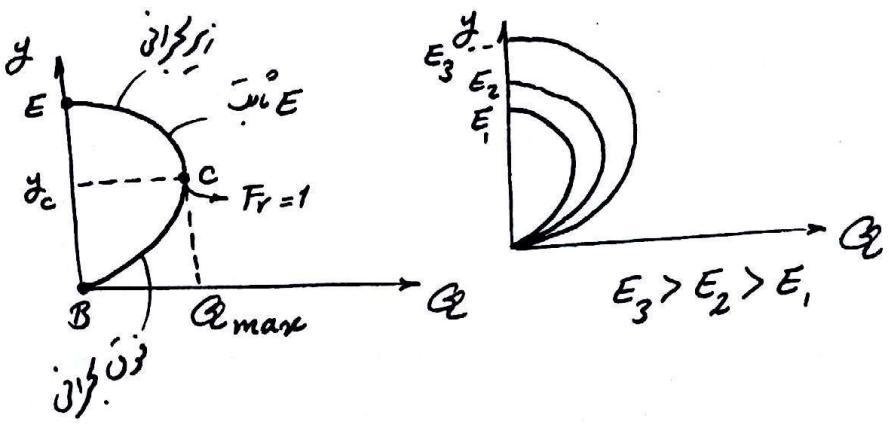


$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$\Rightarrow Q = A\sqrt{2g(E-y)}$$

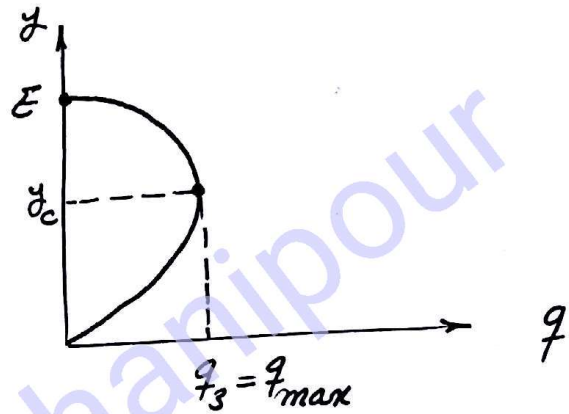
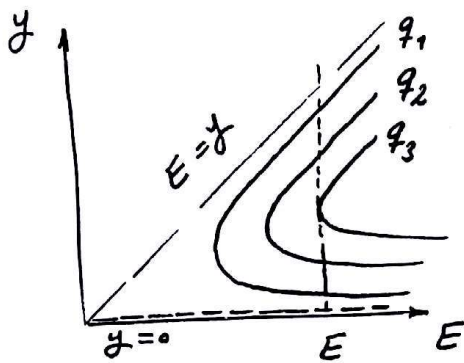
نکات مکتبی دبی :

- ۱- مکتبی دبی دارای یک مقدار انرژی برای یک عمق ثابت است. در مکتبی بحرانی y_c آنانی می افتد و در این شرایط عدد فرود برابر با ۱ می افتد.
- ۲- مکتبی دبی دارای یک شاخه زیر بحرانی و یک شاخه فوق بحرانی است.
- ۳- در هر دو مکتبی دبی به ازای مقدار مختلف از انرژی مخصوص یک رسم کرد، مکتبی دبی با افزایش انرژی مخصوص به سمت راست حرکت می کند.



* تعریف گنجی بحرانی: گنجی بحرانی، کمترین مقدار در انرژی محض است که به ازای انرژی ثابت دارای کمترین مقدار در انرژی محض است.

* منحنی انرژی توان به کانال مستطین با دبی در واحد عرض مختلف نیز تعمیم دارد:



۲. رابطه‌ی مهم که باید حفظ شوند:

در کانال عرض مستطین مقدار گنجی بحرانی برابر است با:

$$* \int S_c = \frac{q}{c^2} \quad * \int S_c = \frac{n^2 q}{y_c^{1/3}}$$

n : ضریب زبری مانینگ

c : ضریب زبری شزی

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

فصل پنجم: نیروی مخصوص

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

فصل پنجم: هیدرولیک : نزدی محض

که آنچه در این فصل میخوانیم :

۱- مفهوم نزدی محض

۲- گشی نزدی محض

۳- پرش هیدرولیک (پرش هیدرولیک : چون داللی متغیر سریع)
۴- محاسبه نزدی و دربر ساز : های هیدرولیک

۱ = مفهوم نزدی محض :

در بسیاری از مسائل هیدرولیک هم شد پرش هیدرولیک (تلاف انرژی زیاد است و نمی توان در این مسائل از رابطه های انرژی محض استفاده نمود . در برخی مسائل نیز باید نزدی را در بر ساز هیدرولیک را محاسبه نمود . در حل این مسائل از رابطه های نزدی محض استفاده می شود .

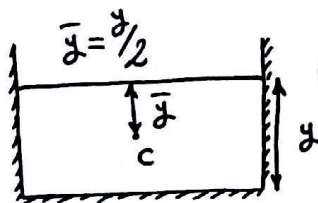
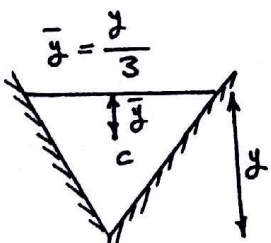
$$F = \frac{Q^2}{gA} + \bar{y}A$$

نزدی محض

F : نزدی محض (m^3)

Q : دبی جریان (m^3/s)

A : مساحت مقطع (m^2)



$\bar{y}$: ناهمبندی مرکز سطح مقطع تا سطح آزاد سیال (h_c)

* رابطه های نزدی محض برای کانال متعین از رابطه های زیر قابل محاسب است :

$$F = \frac{Q^2}{gA} + \bar{y}A \Rightarrow F = \frac{b^2 q^2}{g b y} + \frac{y}{2} b y \Rightarrow \frac{F}{b} = \frac{q^2}{g y} + \frac{y^2}{2}$$

نزدی محض در واحد عرض برای کانال متعین

$$F^* = \sigma_w \times F \quad (kN) \quad \left(\frac{1}{m^3} \right) \quad \left(\frac{m^3}{m^3} \right)$$

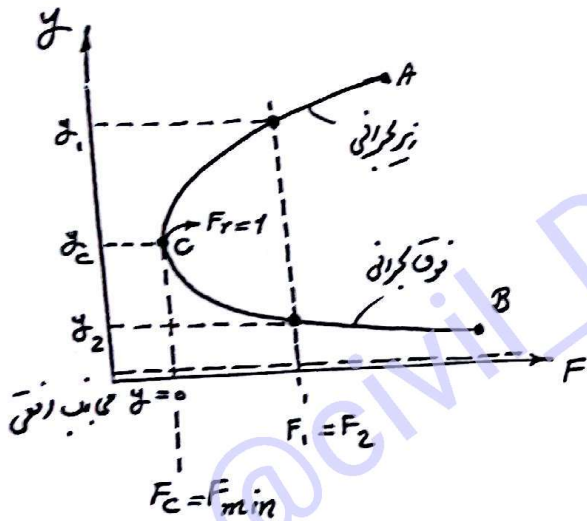
↓
وزن مخصوص آب

۲. رابطه‌ی نیروی مخصوص در حالت خودارز معادلی می‌نویسیم (از لحاظ حرکت) استادی شود.

$$\sum F = \sum P \quad \xrightarrow{\text{جوز ازاد}} \quad F = \frac{v^2}{2g} + \bar{y}A$$

معادلی می‌نویسیم

۲. معنی نیروی مخصوص:



معنی نیروی مخصوص همانند معنی انرژی مخصوص ثابت می‌ماند است:

۱- نکات معنی نیروی مخصوص:

۱- معنی نیروی مخصوص تنها دارای یک مماس عمودی است. (y=0)

۲- معنی نیروی مخصوص در گشای بحرانی (y_c) به کمترین مقدار خود می‌رسد در این شرایط عمده‌ترین معادلی است.

۳- معنی نیروی مخصوص دارای یک مماس عمودی در گشای بحرانی و دارای یک مماس عمودی عمود بر محور عمودی است.

۴- به ازای یک نیروی مخصوص ثابت، معنی نیروی مخصوص در ۲ معنی (زیر بحرانی) و ۲ (فوق بحرانی) قطع می‌شود که به این معنی، همان فرایند می‌گویند.

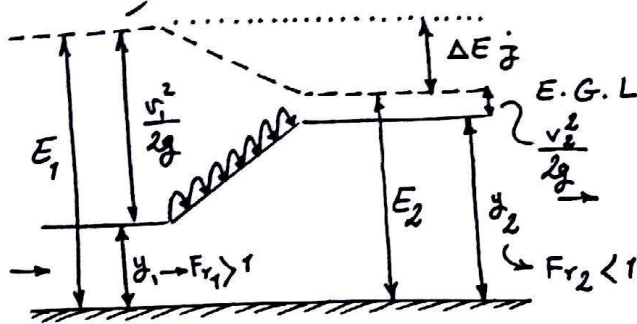
$$E_1 = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad , \quad E_2 = y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\Delta E_f = E_1 - E_2 \quad \text{تفاوت انرژی}$$

تیز پرش هیدرولیکی : یک جز آب ساکن که چون فون بکوانی به چون زیر بکوانی تبدیل می شود .

در این فرایند، انرژی انرژی به زیاد است .

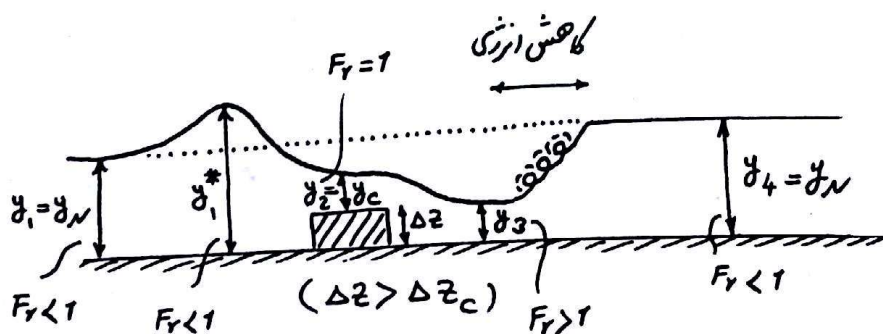
در ادامه پرش هیدرولیکی در یک کانال بابت انتی ($S_0 = 0$) بررسی می شود .



علت این پرش هیدرولیکی : چون در یک کانال، در حال تبدیل با یکی نزول حرکت می کند . در هر دو تکه اندازه داشته باشیم

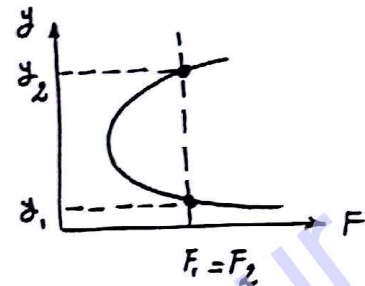
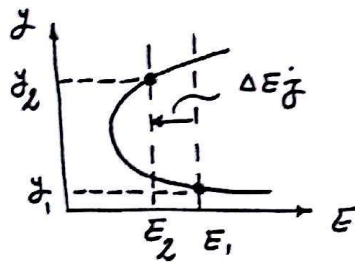
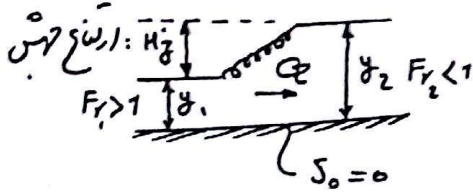
انرژی مخصوص یکی چون در بالا حرکت می کند اندازه افزایش می یابد .

برای آنکه انرژی آب کاهش یابد یکی چون به سمت بالا حرکت می کند، پرش هیدرولیکی که باعث آن انرژی هدر است، اتفاق می افتد .



* در مورد پرش هیدرولیکی موارد زیر را در نظر بگیرید:

1- امکان پرش هیدرولیکی (y_1 و y_2) امکان نزدیک می باشند.



2 - ارتفاع جهش از رابطه‌ی متقابل می باشد:

$$H_j = y_2 - y_1$$

3 - افت انرژی در آن سخت در هین پرش هیدرولیکی از رابطه‌ی زیر قابل می باشد:

$$\Delta E_j = E_1 - E_2 \quad \text{سخت انرژی}$$

$$P_j = \frac{\rho Q \Delta E_j}{m^{3/5}} \quad \text{برای سخت}$$

• پرش هیدرولیکی در کانال متغیض: در صورت امکان متغیض خواهد بود در آن پرش هیدرولیکی رخ دهد، موارد زیر را در نظر بگیرید:

1 - رابطه‌ی زیر بین امکان نزدیک پرش هیدرولیکی برقرار است:

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

$$F_1 = F_2$$

از رابطه‌ی دوم استاندارد می توانیم بگوییم Fr_1 بزرگتر از 1 است و در این حالت تیز.

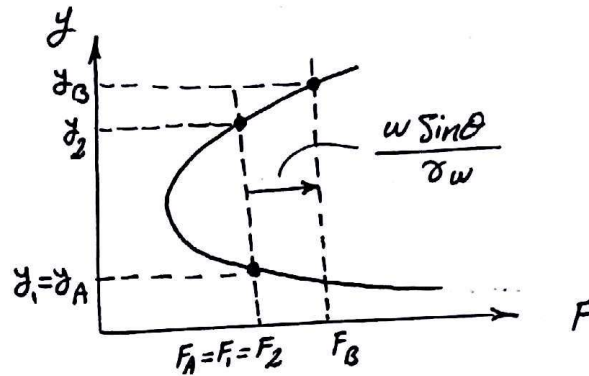
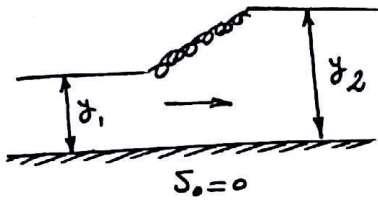
$$* y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1)$$

2 - در صورت امکان پرش در کانال متغیض، مقدار افت انرژی در این کانال از رابطه‌ی زیر قابل می باشد:

$$\Delta E_j = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad \Delta E_j = E_1 - E_2$$

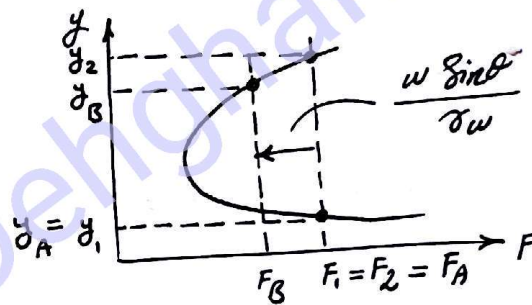
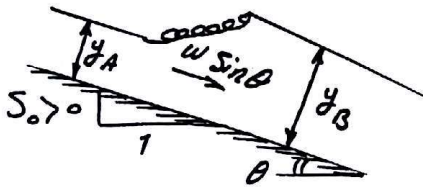
تغییرات تپ کف و دایره آن بر برش هیدرولسی :

* کانال دارای تپ باشد :



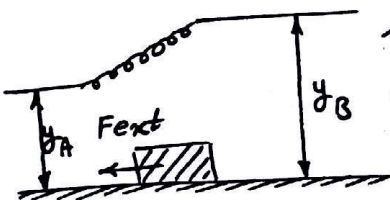
$$\left(F_A + \frac{w \sin \theta}{\gamma w} = F_B \right)$$

* کانال دارای تپ معکوس باشد :

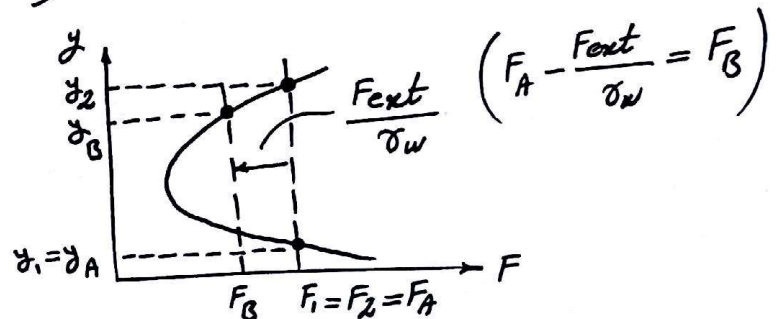


$$\left(F_A - \frac{w \sin \theta}{\gamma w} = F_B \right)$$

تغییرات تپ کف کانال و دایره آن بر برش هیدرولسی :

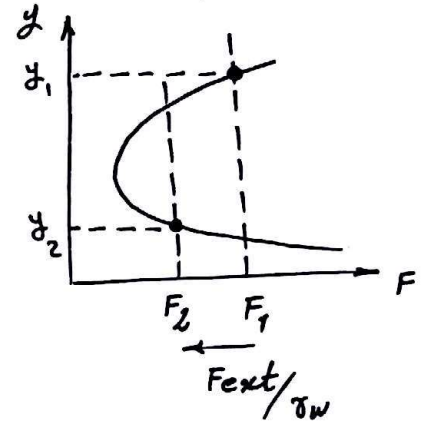
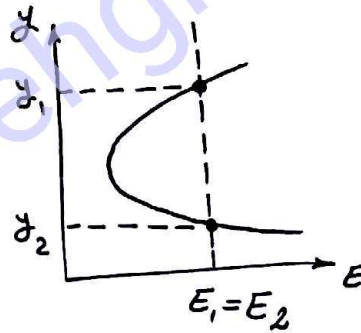
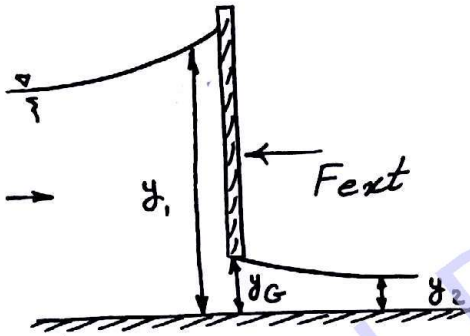


* قرار دادن مانع در برابر برش هیدرولسی :



۴ محاسبه نیروی دار در بر سازی هیدرولیکی :

* معادلات انرژی در این مورد برابر است با انرژی در یک واحد زمان.



$$\frac{F_1 - F_2}{b} = \frac{F_{ext}}{b \delta w}$$

* نکته: هم در این حالت نیز:

* نکته: در جریان های غیر همگامی می توانیم معادلات ساده کرده را برای انرژی محسوس است. اما برای محسوس در این نوع جریان با هم برابر نیست.

* نکته: در صورتیکه y_1 و y_2 به ترتیب از دو دانه نیروی یک برشی هیدرولیکی در کانال مشخص باشد. می توانیم برای این کانال برابر با:

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

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

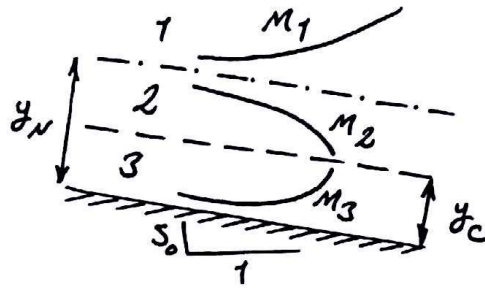
فصل ششم: جریان متغیر تدریجی

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

مترقی انواع کانال ہا:

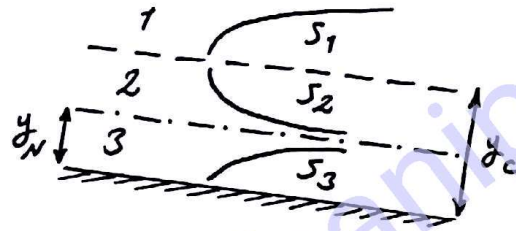
بر اساس سطح تراز جریان (م) ، سطحی بحرانی جریان (c) ، کانال ہا بہ ۳ دستہ قابل تقسیم کی جاسکتے ہيں۔

(M) کانال مدہم (نہ مدہم)



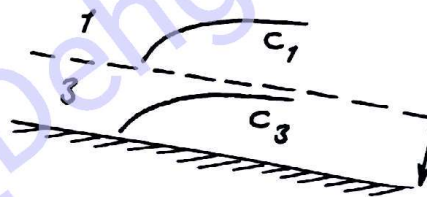
$$y_N > y_c \\ S_0 > S_c > 0$$

(S) کانال تند (نہ تند)



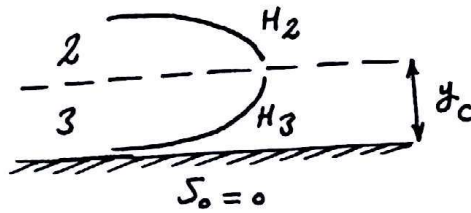
$$y_N < y_c \\ S_0 > S_c > 0$$

(C) کانال بحرانی (نہ بحرانی)



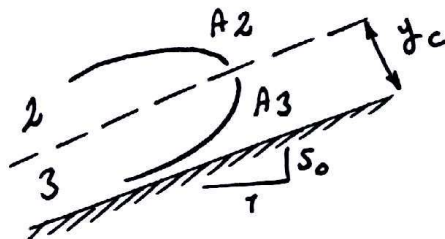
$$y_N = y_c \\ S_0 = S_c > 0$$

(H) کانال آبی (نہ آبی)



$$y_N \rightarrow \infty \\ S_0 = 0 \\ S_c > 0$$

(A) کانال معکوس (نہ معکوس)



$$y_N \text{ زیادہ تر} \\ S_0 < 0 \\ S_c > 0$$

نوٹ: ہموار نہی بحرانی بزرگتر از صفر است۔

* در مورد پرورش های سطح آب، موارد زیر را در نظر بگیرید:

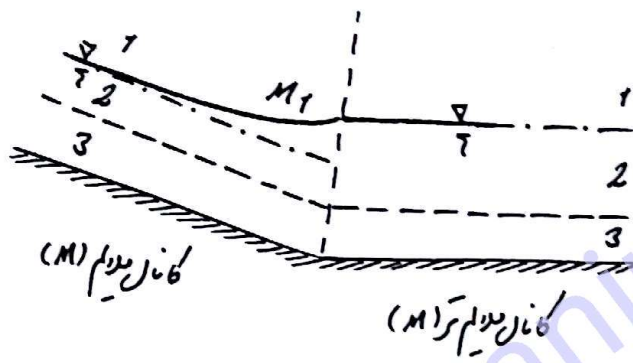
- ۱- ماهی 1 در ماه 3 نواحی محدودی در ماهی 2 ماهی تری که در ماه 3 شود.
- ۲- پرورش های تنفسی در ماه 1، زیر جراحی.
- پرورش های تنفسی در ماه 2، به جز 5 که فوق جراحی است، ماهی زیر جراحی است.
- پرورش های تنفسی در ماه 3، فوق جراحی است.
- ۳- نمرخ های سطح آب هم بر مبنای نعل به آن نزدیک و یا از آن دوری شوند.
- ۴- نمرخ های سطح آب هم بر مبنای جراحی به آن نزدیک و یا از آن دوری شوند.
- ۵- لطف برادر دادی گئی جراحی با --- دخی نعل با --- نعل دادی شود.

* گام های زیر به منظور تشخیص پرورش های سطح آب طی می شود:

- ۱- ماهی بوی گئی جراحی.
- ۲- ماهی بوی گئی نعل.
- ۳- ماهی بوی گئی نعل.

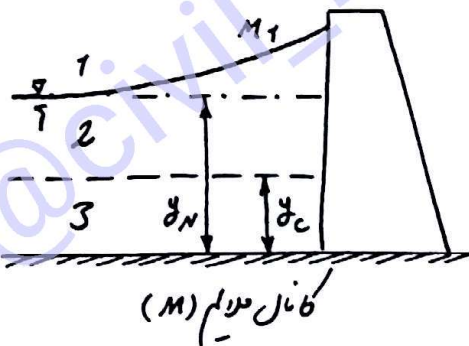
ترکیب نیروهای سطح آب در رسم کنی آنها :

قرار داد اول : چون دومت دارد یعنی نزاع حرکت نماید ، اگر در اثر تغییرات در شیب کانال و یا احداث سازه های هیدرولیکی ، مکن نزاع تغییر نماید ، جریان محلی می کند دوباره به مکن نزاع باز گردد .

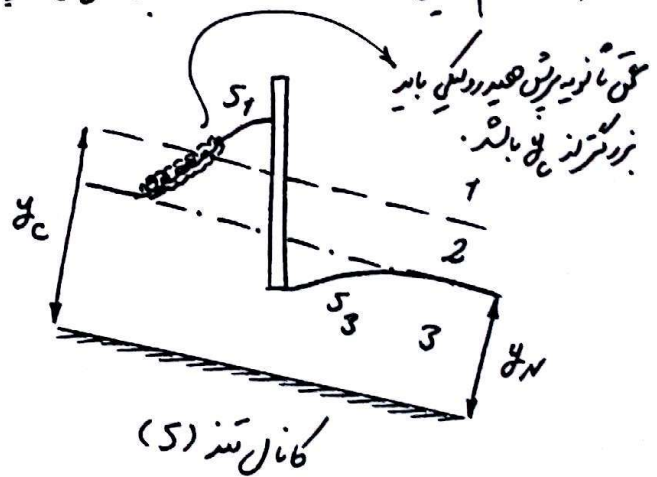
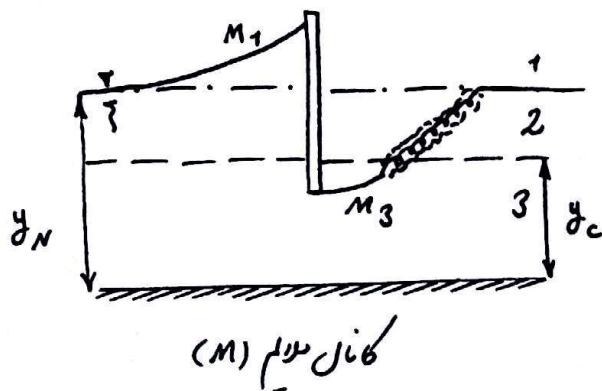


* مکن شیب ملایم ترند یعنی کمترند
 * مکن شیب افزایش می یابد
 * y_c وابسته به شیب کانال نیست و داده شده می کند .

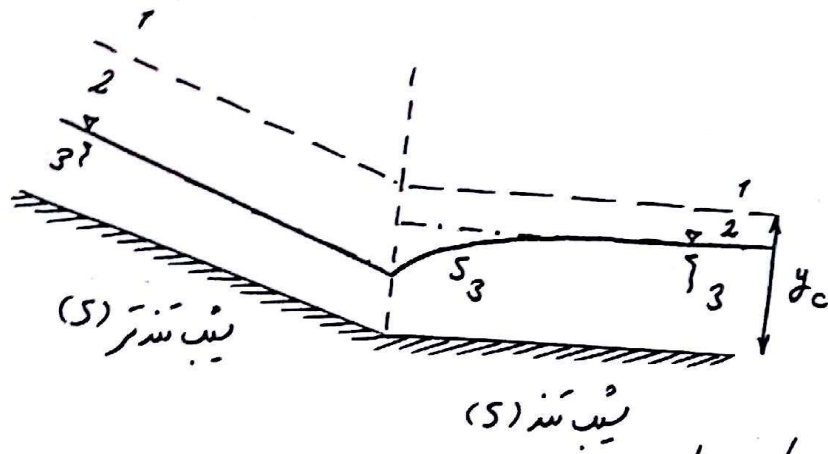
قرار داد دوم : در صورت احداث سد و یا در یک در کانال ، مکن چون در پشت سد و یا در یک به علت انداد افزایش می یابد .



قرار داد سوم : یکی از راه های عبور ، عبور بر نواحی یا در ۳ ، عبور از ناحیه ۲ به بازشش هیدرولیکی است .

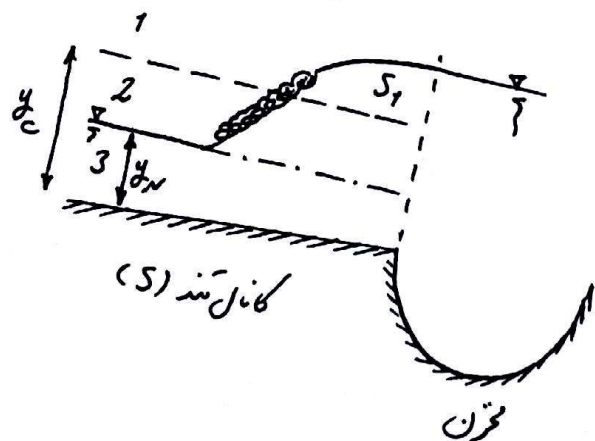
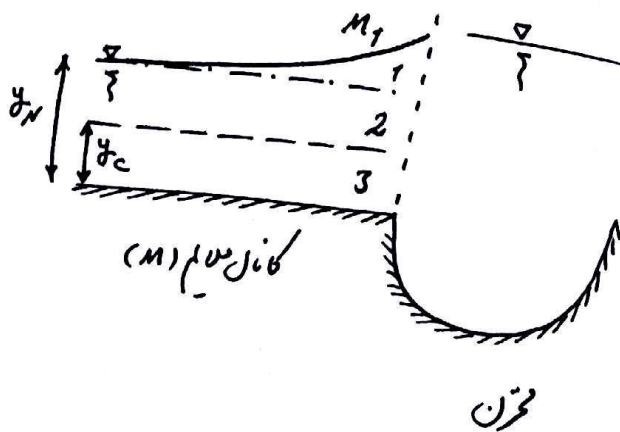
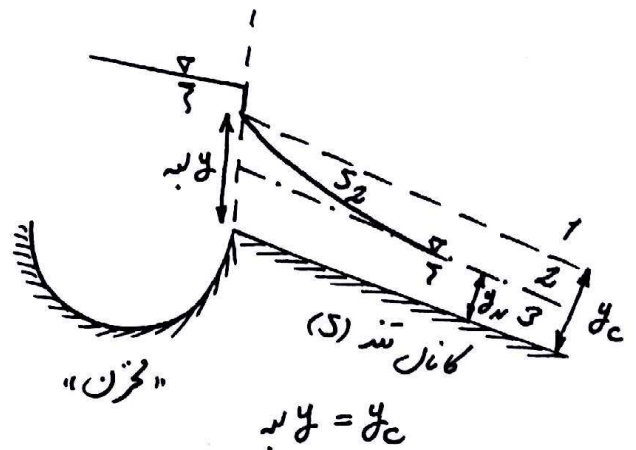
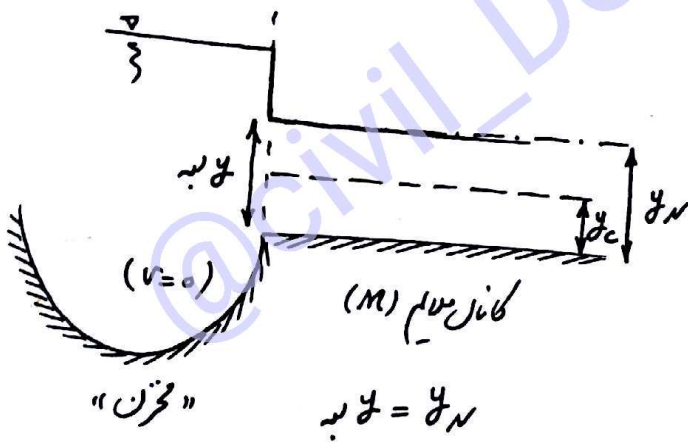


مکن تا فواید بیش هیدرولیکی باید
 بزرگترند y_c باشد .

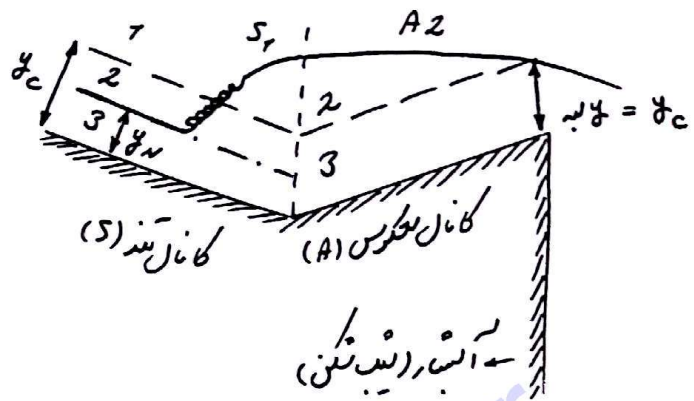
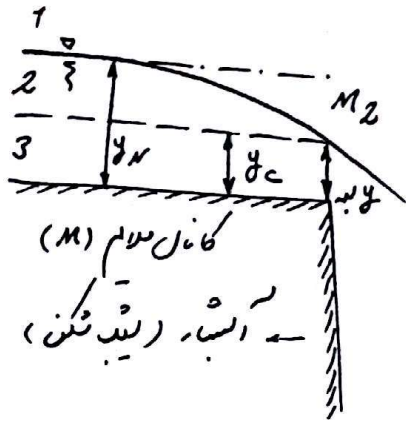


* پرش هیدرولیکی: یک فرآیند است که در آن انرژی مکانیکی در یک جریان را به انرژی پتانسیل تبدیل می‌کند (مثلاً در یک پرش، انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل تبدیل می‌شود).

فرار داجیام: اگر محزن درودی باشد، بهترین مکانی از بین مکانی نزول و مکانی جریان است و در هر دو صورت محزن در خروابی (فرار داجیام) باشد، انداختن می‌دهد. مکانی بی‌کاف



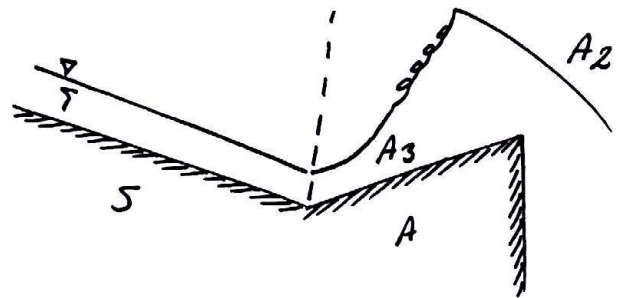
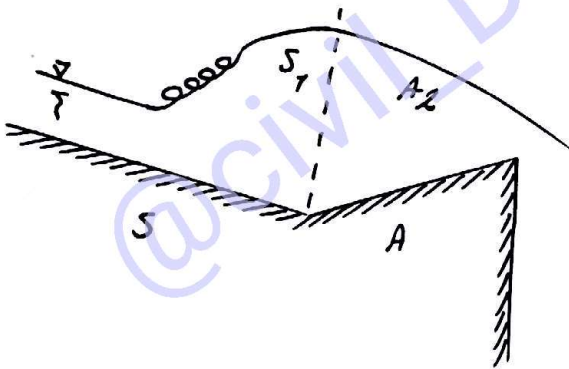
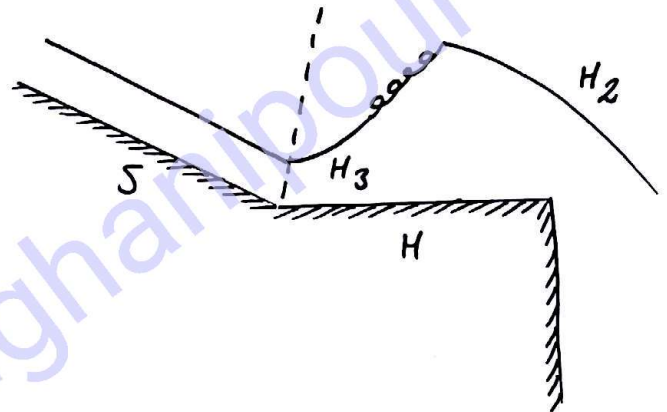
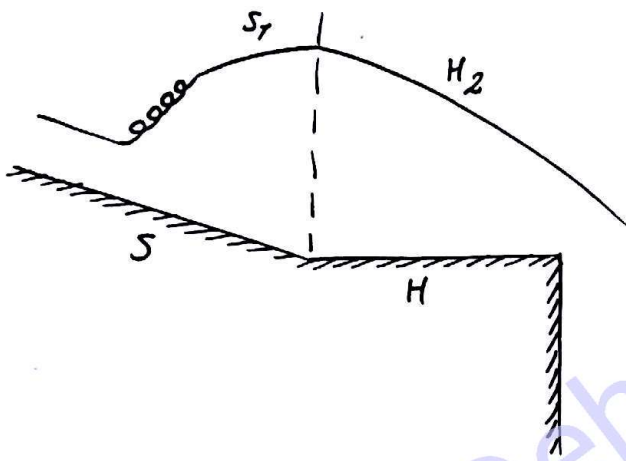
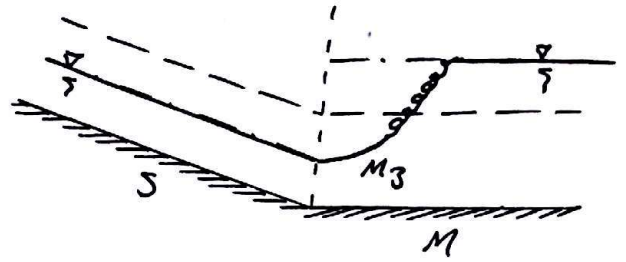
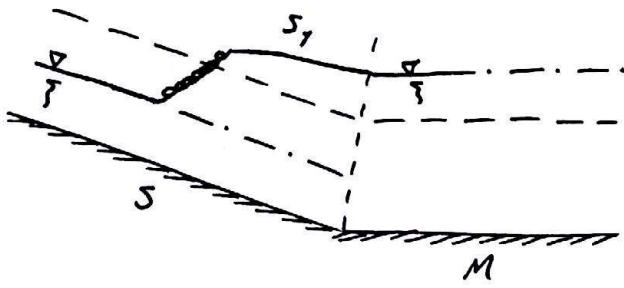
قرار داد پنجم: وقتی آب در بدی که آبشار معادل می بخرازی است. (در جزو کانال تند)



قرار داد ششم: در صورت وجود کانال معکوس، فرض کنید دارای می زنال در جی نهایت است.
در صورت وجود کانال معکوس، می تند کانال رقیق با آن رفتار شود.

@civil_DehghaniPur

* برعکس کانال تند به کانال افقی، معکوس و عمیق:



محاسبات کنی غیرخ های سطح آب :

* معادله ریاضی جریان متغیر تدریجی :

یخبان کانال

شیب خط انرژی

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

تغییر سطح آب در طول جریان

III ناحیه I : $\frac{dy}{dx} > 0$

II ناحیه : $\frac{dy}{dx} < 0$

I ناحیه : $Fr < 1$

II ناحیه : $\begin{cases} S_2 \rightarrow Fr > 1 \\ \text{ماتمی} \rightarrow Fr < 1 \end{cases}$

III ناحیه : $Fr > 1$

* $\left\{ \begin{array}{l} y = y_N \Rightarrow S_0 = S_F \Rightarrow \frac{dy}{dx} = 0 \Rightarrow \text{مماس} \\ y = y_c \Rightarrow Fr = 1 \Rightarrow (\frac{dy}{dx} \rightarrow \infty) \Rightarrow \text{عمود} \end{array} \right\}$ *

نکته ۳

* در هر دو تنه جريان در کانال وجود داشته باشد ، در جهت جريان انرژی کم کاهش می یابد .

* در جريان متغیر سریع ، انرژی مخصوص ، کاهش می یابد .

* در جريان متوازی ، انرژی مخصوص ثابت است بخاطر آنکه تمام متقاطع ، یک جريان در هر دو جريان ثابت می باشد .

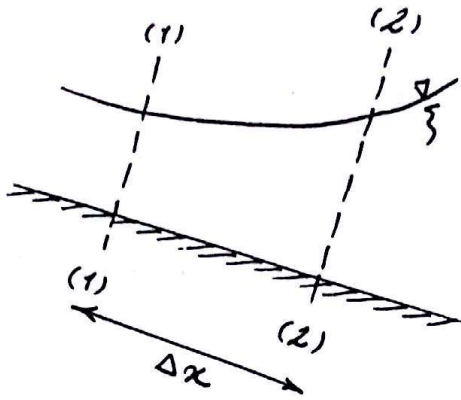
* نکته :

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

همی کانال ها $\left\{ \begin{array}{l} \frac{dE}{dy} = 1 - Fr^2 \\ \frac{dE}{dx} = S_0 - S_F \end{array} \right.$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dE}{dy} \times \frac{dy}{dx} = (1 - Fr^2) \times \frac{S_0 - S_F}{1 - Fr^2} = S_0 - S_F$$

روش گام به گام مستقیم:



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

$$\bar{S}_F = \frac{S_{F1} + S_{F2}}{2}$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_F^{1/2} \Rightarrow S_F = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}}$$

$$E_2 - E_1 + \frac{\Delta E}{\Delta x} = S_0 - \bar{S}_F \Rightarrow \Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - \bar{S}_F}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\left(\frac{dy}{dx}\right)_1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)_2}{2}$$

روش عددی ادیس:

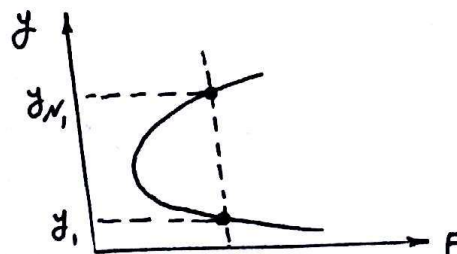
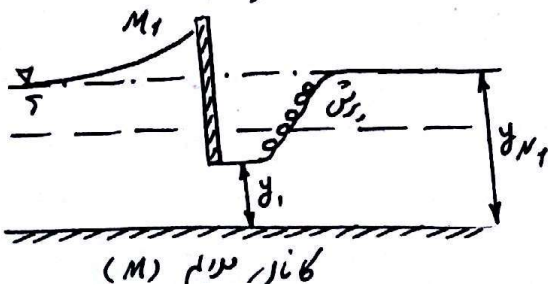
$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_1 = \frac{S_0 - S_{F1}}{1 - Fr_1^2}$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_2 = \frac{S_0 - S_{F2}}{1 - Fr_2^2}$$

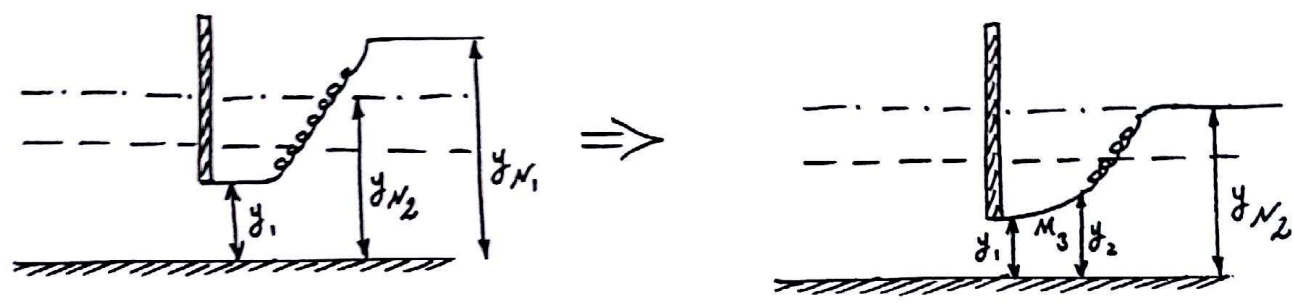
۵ کاربرد سیمرخ های سطح آب:

• پخش هیدرولیک بعد از دریا در کانال ملایم.

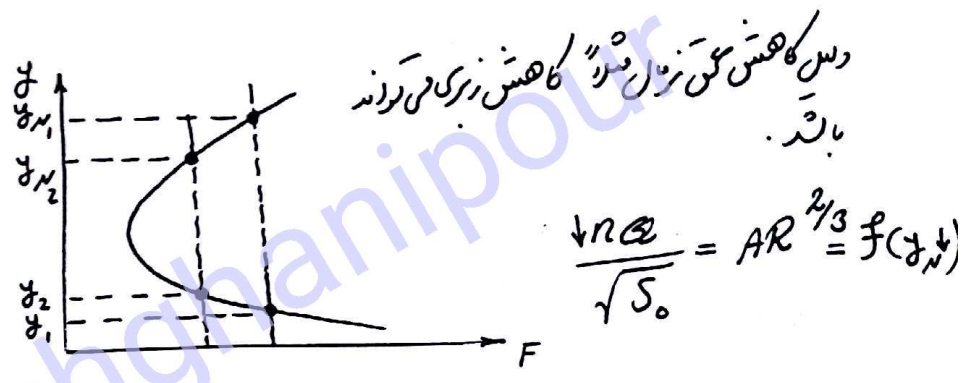
حالت اول: آب بعد از خروج از دریا در یک دین همگونی تنیس بر زمین و هیدرولیک می شود.



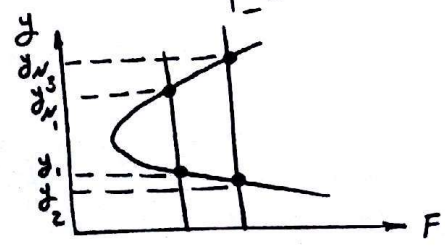
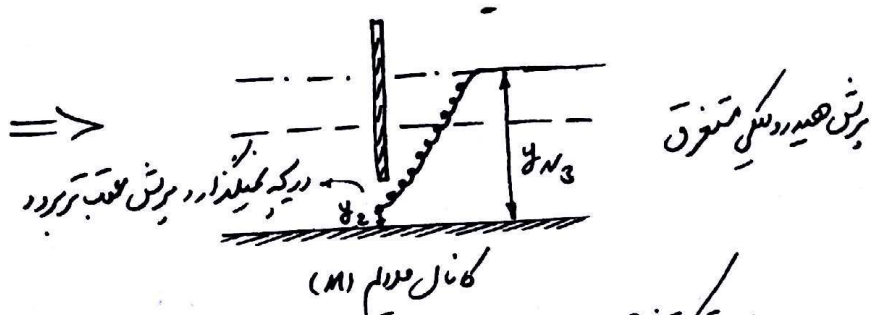
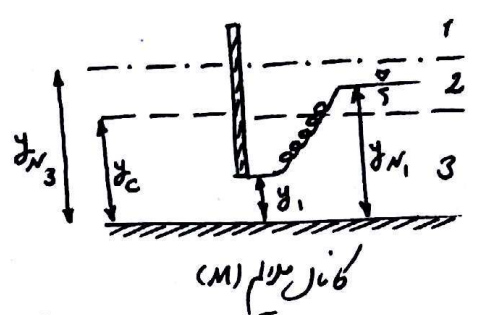
حالت دوم: در صورتیکه در حالت اول به واسطه مکن نزول جریان کاهش یابد، در این صورت جریان مجبوراً در استوار پرس M_3 را تسکین دهد و سپس پرس هیدرولیک تسکین می شود. در واقع پرس هیدرولیک به واسطه تسکین می شود.



* برای کاهش مکن مانویدی پرس کافی است مکن اولیه پرس را افزایش دهیم.
 * در صورتیکه بعد از درگیر پرس هیدرولیک آن مانوید آن در اثر کاهش مکن نزول مکن مانویدی پرس کم شود، پرس هیدرولیک به واسطه تسکین می شود.
 و تسکین از آن پرس M_3 تسکین می شود.



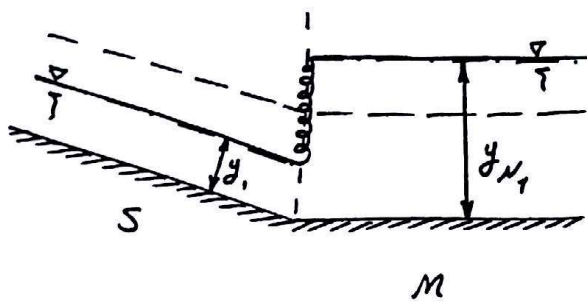
حالت سوم: در صورتیکه در حالت اول مکن نزول جریان به دس تغییرات در هیدرولیک مانوید افزایش یابد، پرس هیدرولیک به سمت بالاتر تسکین می شود. در این شرایط پرس هیدرولیک متغیر تسکین می شود.



* در صورتیکه بزرگتر مکن مانویدی پرس افزایش یابد مکن اولیه پرس کاهش یابد.

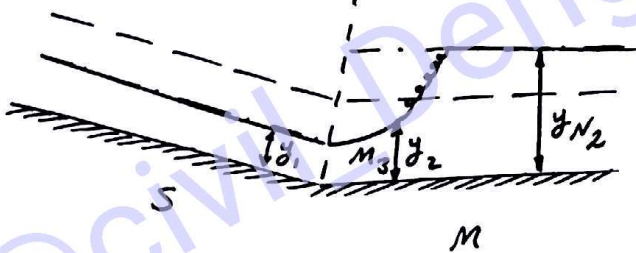
• برخورد شیب تند به شیب ملایم :

حالت اول : پرش هیدرودینامیکی در محل برخورد دو شیب رخ دهد.



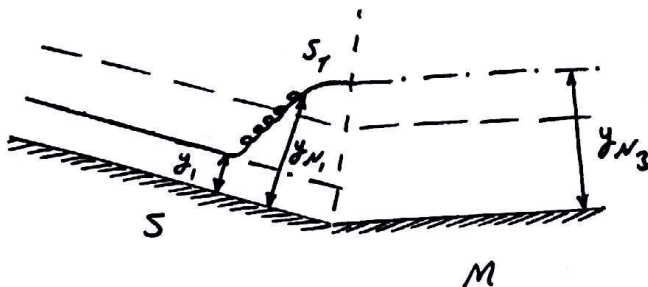
$y_2 < y_1$ یعنی نزول کانال تند

حالت دوم : اگر در حالت اول به دلیل تغییرات زبری، عمق نزول کانال ملایم کاهش یابد در این شرایط پرش هیدرودینامیکی به سمت پایین حرکت می کند و پس از آن بر دین M_3 تشکیل می شود.



$y_{N2} < y_{N1}$

حالت سوم : اگر در حالت اول به دلیل تغییرات زبری، عمق نزول کانال ملایم افزایش یابد، در این شرایط پرش هیدرودینامیکی به سمت بالا حرکت می کند و بعد از آن بر دین S_3 تشکیل می شود.



$y_{N3} > y_{N1}$

* پرش نمی تواند دارد M شود چون اگر دارد نمود

در M_1 عمق اولیه پرش افزایش می یابد و به y_{N2} می شود
کمتر می شود و به y_{N3} می رسد. (نزودهن)

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه + سری عمران

خلاصه هیدرولیک

فصل هفتم: جریان غیردائمی

مدرس : دکتر امیرمسین دهقانی پور

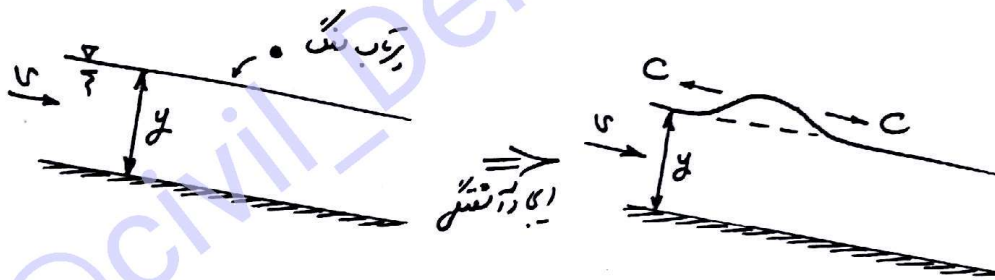
فصل هفتم هیدرولیک : جریان غیر دالسی :

* جریان غیر دالسی :

- ۱- جریان غیر دالسی با طول موج کوچک . (در این شرایطی توان جریان غیر دالسی را با یک جریان دالسی معادل کرد)
- ۲- جریان غیر دالسی با طول موج بزرگ .

۱- جریان غیر دالسی با طول موج کوچک (متغیر ترکیبی) :

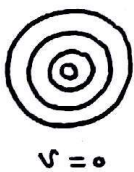
در این نوع جریان که می تواند در اثر برآورد در داخل کانال اتفاق بیفتد ، تغییرات سطحی جریان زیاد نیست و می توان با استفاده از دروازه زیر سرعت افتاد موج را می بیند کرد :



$$C_u = c - u$$
 سرعت افتاد موج به سمت بالا رفتن
 سرعت افتاد موج

$$C_D = c + u$$
 سرعت افتاد موج به سمت پایین رفتن

$$c = \sqrt{gD}$$
 سرعت هیدرولیکی



$$Fr > 1$$
 : جریان فوق بحرانی : $C_u < 0$

$$Fr = 1$$
 : جریان بحرانی : $Fr = 1 \Rightarrow u = c \Rightarrow C_u = 0$

$$Fr < 1$$
 : جریان زیر بحرانی : $C_u > 0$

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gD}} = \frac{u}{c}$$

* در هر دو سمت (برگشت امواج به سمت بالا و پایین) مثبت باشد در این شرایطی می توان گفت: $c > u$ و به همین علت امواج به بالا و پایین حرکت می کنند.

اما اگر c منفی باشد، در این شرایطی مقدار برگشت جریان از سرعت سطح موج، کمتر شود. و گوی امواج به پایین سمت حرکت می کنند.

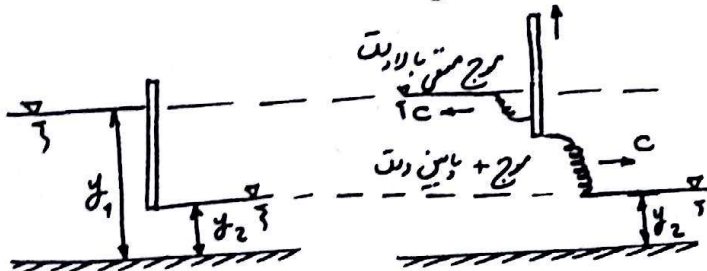
نکته: در کانال مستطیل: $c = \sqrt{gy}$

$$Fr = \frac{u}{c} = \frac{\frac{\overline{O_1 O_2}}{\Delta t}}{\frac{R_2 - R_1}{\Delta t}} = \frac{\overline{O_1 O_2}}{R_2 - R_1}$$

۲- جریان غیر دائمی با طول موج بلند:

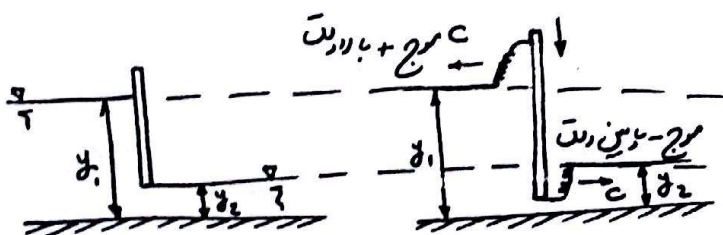
"موج پایین سمت" به موج گفته می شود که حرکت آن در جهت مثبت کانال باشد و چنانچه در خلاف آن جهت باشد "موج بالا سمت" نامیده می شود.

اگر موج با افزایش سطح آب نسبت به حالت دائمی حرکت کند، آن را "موج مثبت" و در هر دو سمت سطح آب را به میزان سطح محمول آب در حالت دائمی تقسیر دهد، آن را "موج منفی" می خوانند.



انواع موج } مثبت { بالا سمت
 { پایین سمت
 { منفی { بالا سمت
 { پایین سمت

* سطح موج: پرتش هیدرولیک می باشد.



بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج

جزوه هیدرولیک

HVDRAULICS

استاد:

مهندس حسین فتحی

خرداد ۱۳۹۳

فهرست مطالب

فصل اول : انواع جریان ها ، معرفی عدد رینولدز ، فرود و حالت های جریان و رژیم های جریان

فصل دوم : انواع کانالها و مقاطع هیدرولیکی مربوطه و یادآوری مفاهیم پایه در هیدرولیک از قبیل معادله پیوستگی ، معادله انرژی ، معادله مقدار حرکت و ضریب توزیع سرعت، توزیع فشار در مقطع کانال

فصل سوم : اصل انرژی و کاربرد آن در کانال ها ، انرژی مخصوص جریان بحرانی ویژگیهای آن و کاربرد انرژی مخصوص در تحلیل جریان همگرا و واگرا و در شرایط بالا و پائین افتادن کف کانال

فصل چهارم : اصل مقدار حرکت یا اندازه حرکت و کاربرد آن در کانال ، نیروی مخصوص

فصل پنجم : جریانهای یکنواخت در کانال های باز « معادله مانینگ ، شزی، تحلیل و محاسبه جریان یکنواخت طراحی کانال برای جریان یکنواخت ، تعیین عمق نرمال محاسبه شیب نرمال و شیب بحرانی و بهترین قطع هیدرولیکی

بخش عملی (۳۲ ساعت)

- ۱- جریان دائمی یکنواخت در کانال (تاثیرات زبری در عمق)
- ۲- جریان متغیر تدریجی در کانال (پروفیل سطح آزاد آب)
- ۳- جریان بحرانی
- ۴- سرریز لبه تیز (مربع مستطیل، مثلثی)
- ۵- سرریز لبه پهن
- ۶- سرریز اوجی
- ۷- پرش هیدرولیکی در کانال (مستغرق - با سطح آزاد)
- ۸- حوضچه آرامش
- ۹- دریچه (قطاعی - قائم)
- ۱۰- پایه پل در جریان
- ۱۱- ونتوری فلوم
- ۱۲- پارشال فلوم
- ۱۳- بارش - رواناب

مقدمه:

شاخه ای از مکانیک که درباره خواص تعادل و حرکت اجسام سیال گفتگو می کند مکانیک سیالات (Fluid-Mechanics) نام دارد و به رشته ای از مکانیک سیالات که راجع به کاربرد علمی این علم در امور مهندسی و خواص مایعات و نحوه استفاده از آنها در موارد مختلف مهندسی بحث می کند (Hydraulics) گفته می شود.

سوابق تاریخی:

بشر از قدیم الایام با آب سر و کار داشته و در حقیقت زندگی خویش را مرهون آب بوده است اولین بقایای اسکلت انسان های ماقبل از تاریخ همیشه در حوالی رودخانه ها و نواحی مجاور چشمه ها و جویبار ها یافت شده و نشان دهنده این است که بشر بدون کمک آن نمی توانستند به حیات خویش ادامه دهد.

آب علاوه بر رفع نیاز های بشر گاهگاهی به صورت باران و سیل باعث خسارات فراوان و انهدام خانه بشر اولیه می گردیده است و بدین ترتیب ، بشر همواره در مورد آب کنجکاو و درصدد بوده که منشاء و نحوه طبیعت آب را دریابد تا به کمک آن بتواند اولاً آب مورد نیاز خویش را تهیه نماید و ثانیاً حوادثی نظیر سیل و بارانهای شدید را بتواند پیش بینی کرده و یا آنها را مهار نماید

بنیان گذار واقعی مکانیک سیالات دو دانشمند سوئسی بنام اولر و برنولی اند که در قرن 18 میلادی میزیسته اند امروز نیز قانون برنولی به عنوان یکی از مهمترین و شاید اساسی ترین قوانین موجود در مکانیک سیالات می باشد

در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم دانشمندان دیگری به نام استوکس و رینولدز مطالعاتی درباره مایعات لزج انجام دادند و پرانیدیل نیز با ابداع نظریه لایه مرزی در سالهای اخیر گام بلندی در راه توسعه این رشته مهندسی برداشت.

لذا در این راستا علم هیدرولیک به عنوان علمی که رفتار مکانیکی آب یعنی علمی که سکون حرکت و تغییر شکل های آن را تحت تاثیر تنش های وارده همراه با دخالت شرایط مرزی بررسی می کند تکامل یافته است و در دوران حاضر بنا بر ضرورت شناسایی، رفتار مکانیکی سایر سیالات هیدرولیک به عنوان یکی از شاخه های علم مکانیک سیالات شناخته می شود که در این شاخه بر خلاف شاخه هیدرودینامیک از جنبه های تجربی و آزمایشگاهی خود دلیل محکمی از پیچیدگی تاثیر عوامل مختلف طبیعی و غیر طبیعی بر رفتار مکانیکی آب می باشد.

تهیه جزوه مربوطه برای شناخت مهندسين از قوانين حاکم بر روش های انتقال آب، استفاده از نیروی ثقل و به حرکت در آوردن آب به صورت جریان با سطح آزاد به همراه ایجاد کانال ها و سازه های هیدرولیکی مربوط نظیر سرریز ها، دریچه ها و ... از متداول ترین روش ها در آبیاری و آبرسانی می باشد. که تحت عنوان هیدرولیک کانال های باز را ضروری می سازد. در هیدرولیک کانال های باز ضمن تبیین اصول و قوانین حاکم بر جریانهای آزاد و کاربردهای آنها و نیز بررسی جریان های متغیر تدریجی و مکانی در آبراهه ها به اصول هیدرولیکی حاکم بر تاسیساتی نظیر دریچه ها و سرریز ها به عنوان سازه های کنترل کننده جریان، طراحی سازه های هیدرولیکی همچون تبدیلها، پل ها و آبروها و نیز کنترل سیلاب و انتشار امواج در کانالها و رودخانه ها پرداخته می شود را مورد بررسی قرار می دهد.

فصل اول :

انواع جریان سیال

به طور کلی انواع جریان سیال شامل:

۱- جریان با سطح آزاد (کانال ها ، رودخانه ها ، دریاها)

۲- جریان تحت فشار (لوله های پر)

۳- جریان های متخلخل

۴- جریان خاص:

۱- مخلوط آب و هوا (هوادهی و کاویتاسیون)

۲- مخلوط آب و رسوب (پرسدن مخازن سدها)

جریان در مجاری آب به دو صورت جریان در لوله ها (Pipe Flow) و جریان در کانال های باز (Open channel flow) مشاهده می شود. یا به عبارتی دیگر جریان در علم هیدرولیک مجاری تحت فشار (لوله های تحت فشار) را به (Pipe flow) و جریان در علم هیدرولیک کانال های باز (کانال های باز) که دارای سطح آزاد می باشد را (Open channel flow) بیان می گردد

جریان آب در لوله ها و در کانال های باز در بسیاری از جهات به یکدیگر شبیه هستند اما در مواردی با هم اختلاف دارند.

جریان آب در لوله ها بایستی تمام لوله را پر کند اما جریان با جو در تماس نیست یعنی تمام مایع درون یک مرز جامد محصور شده است. و دارای سطح آزاد (Free surface) نمی باشد. اما جریان در کانال های باز بایستی سطح آزاد (Free surface) داشته باشد که با جو در تماس است و یا به

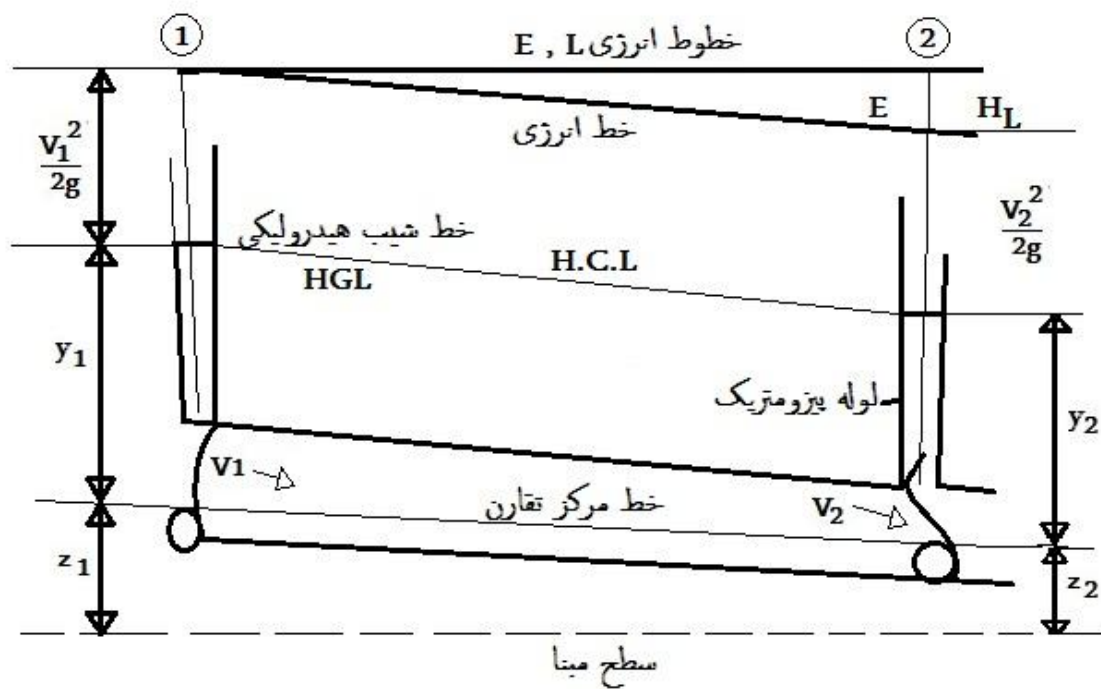
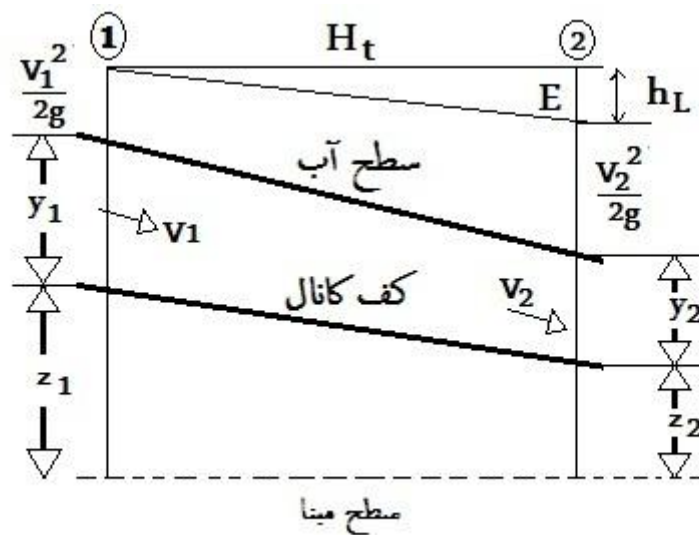
عبارتی دیگر در کانال های باز یک مرز از جریان محصور نمی شود و در تماس با هوای آزاد می باشد.

و یا به تعریفی یا عبارت دیگر فرق اساسی بین جریان (Pipe flow) و جریان در کانال های باز (Open channel flow) در این است که جریان در لوله ها ، جریان تحت فشار است در صورتیکه جریان در کانال های باز جریان تحت فشارنسبی صفریافشار اتمسفریک (Atmospheric pressure) می باشد .لذا در لوله ها فشار در هر نقطه تحت تاثیر فشار جو نمی باشد و در این حالت فشار را اصطلاحاً فشار هیدرولیکی (Hydraulic pressure) می گویند.

از تفاوت های دیگر می توان به مواردی از قبیل در کانال های باز شامل محدوده وسیع تری از جریان ها مانند روان آب ناشی از بارندگی ، نهر کوچک، رودخانه و ... می شود و جریان در کانال های باز متغیر های بیشتری بین پارامتر های جریان وجود دارد. زیرا در کانال های باز عمق نیز تغییر می کند و تغییرات شیب ، زبری جداره و ... می باشد که می تواند خصوصیات جریان از قبیل سرعت را تغییر دهند و حال آن که در لوله ها (مجاری تحت فشار) (Pipe flow) تنها در صورت تغییر قطر لوله سرعت جریان تغییر می کند.

لذا نتیجه گیری میکنیم جریان در کانال های باز از پیچیدگی بیشتری برخوردار می باشد چرا که در جریان قابلیت تغییر عمق وجود دارد.

توجه مهم: برای توجیه تفاوت بین جریان در لوله (Pipe flow) و جریان در کانال های باز (Open channel flow) در شکل 1-1 با لوله های پیزومتری (Piezometere tuhes) در سطوح و مقاطع 1 و 2 استفاده می شود



مقایسه : جریان در لوله ها و مجاری باز

Note نکات:

۱- اولاً : در مقایسه جریان شکل بالا باید بدانیم (Hydraulic gradelin) : را به H.G.L نشان می دهیم و به عنوان خط شیب هیدرولیکی معروف می باشد یا خط گرادیان هیدرولیکی بیان می گردد.

۲- (Energy line) : را به خط انرژی و به اصطلاح E.L تحت عنوان خط انرژی یا تراز انرژی بیان می گردد.

۳- چون جریان در لوله ها تحت فشار است لذا آب در لوله های پیزومتری تا ارتفاع y_1 و y_2 در سطوح مقاطع 1 و 2 بالا می رود خط شیب هیدرولیکی یا خط گرادیان هیدرولیکی (H.G.L) در واقع مکان هندسی نقاطی است که مقادیر $Z + \frac{P}{\gamma}$ را نشان می دهد.

۴- ارتفاع Z در جریان تحت فشار (لوله ها) از مرکز خط مرکز تقارن لوله ها تا سطح مبنا می باشد

۵- ارتفاع Z در جریان آزاد از کف کانال تا سطح مبنا می باشد.

۶- حالا اگر در مسیر خط شیب هیدرولیکی (H.G.L) : به اندازه پتانسیل سرعت $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ در سطوح مقادیر مختلف جریان بالا آمده و خطی رسم می شود. خط انرژی یا تراز انرژی (E.L) بدست می آید که در واقع مکان هندسی نقاطی است که معرف $Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$: از یک سطح مبنا می باشد.

۷- اکنون اگر مقدار افت انرژی h_L (Energy Loss) در نقاط مختلف مسیر به مقدار انرژی افزوده شود مقدار کل انرژی H_t (Total energy) در نقاط مربوط به دست می آید و چون مقدار کل انرژی در سیستم مقدار ثابتی است لذا خط H_t به صورت موازی با سطح افق در می آید و مقدار آن

$$\text{برابر با } Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_L \text{ می باشد}$$

۸- به عبارتی ساده تر می توان نوشت:

$$(E.G.L) = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g} = \text{تراز انرژی}$$

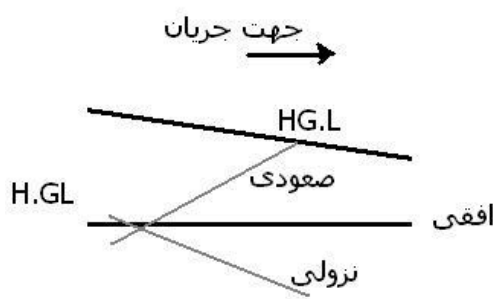
۹-

$$(H.G.L) = \frac{P}{\gamma} + Z = \text{تراز هیدرولیکی}$$

۱۰- نتیجه می گیریم که همواره $E.G.L \geq H.G.L$

۱۱- $E.G.L$ یا تراز انرژی در جهت جریان همواره نزولی است

۱۲- $H.G.L$ یا تراز هیدرولیکی می تواند صعودی یا نزولی یا افقی باشد



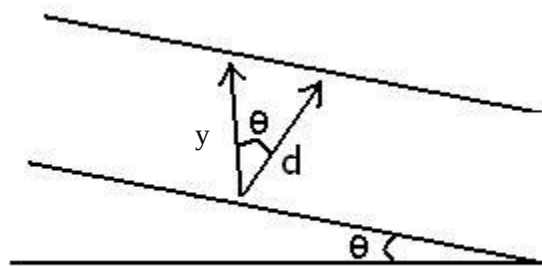
۱۳- جهت جریان همواره از تراز انرژی بیشتر به انرژی کمتر است.

۱۴- در کانال های باز انحنای سطح آب زیاد نیست و شیب کانال یا شیب کف کانال کم می باشد ($\theta < 60^\circ$) و چون در کانال های باز فشار صفر است لذا لوله های پیزومتر ارتفاعی را نشان نمی دهند از این رو خط شب هیدرولیکی HGL در سطح آب قرار دارد. در این کانال های باز توزیع سرعت در سطوح مقاطع مختلف یکنواخت و شیب کانال کم است

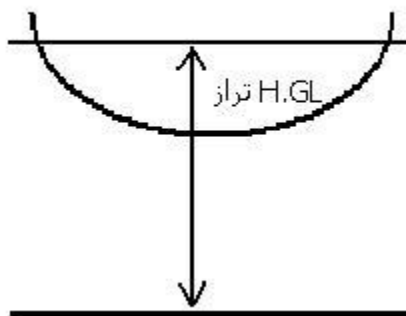
15- چون شیب کانال کم است در نظر گرفته شده ($\theta < 60^\circ$) پس سرعت در سطوح مختلف

یکنواخت است

نکته:



$$d = y \cos \theta \rightarrow \text{if } \theta < 60 \rightarrow d = y$$

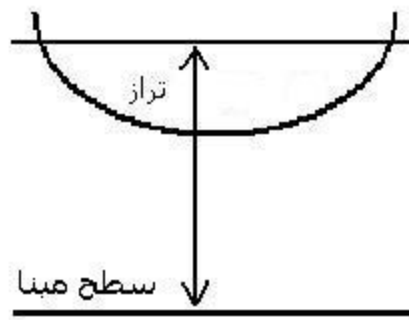


۱۶- H_L یا H_F در بعضی کتابها تفاوتی با هم ندارند و افت محسوب می گردد.

۱۷- عمق جریان (y) در یک مقطع با محل فاصله قائم پائین ترین نقطه کف کانال تا سطح آب عمق جریان نامیده می شود. این فاصله را در جهت عمود بر کف کانال با d نمایش می دهیم ($d = y \cos \theta$) که در بالا بیان گردیده .

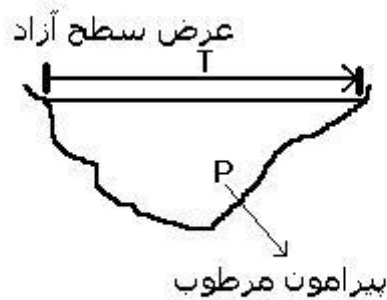
در کانال هایی که با شیب ($\theta < 60$) باشد این د و پارامتر با یکدیگر یکسان در نظر گرفته می شود

۱۸- تراز در یک مقطع از کانال : فاصله قائم سطح آب نسبت به یک مبنا دلخواه تراز نامیده می شود



۱۹- عرض سطح آزاد : (T) به طولی از مقطع جریان گفته می شود که با هوای آزاد در تماس است

۲۰- پیرامون مرطوب : (P) در صورتی که از محیط کلی مقطع جریان سط آزاد آب را کم کنیم پیرامون مرطوب بدست می آید که محدوده بستر کانال را نشان می دهد



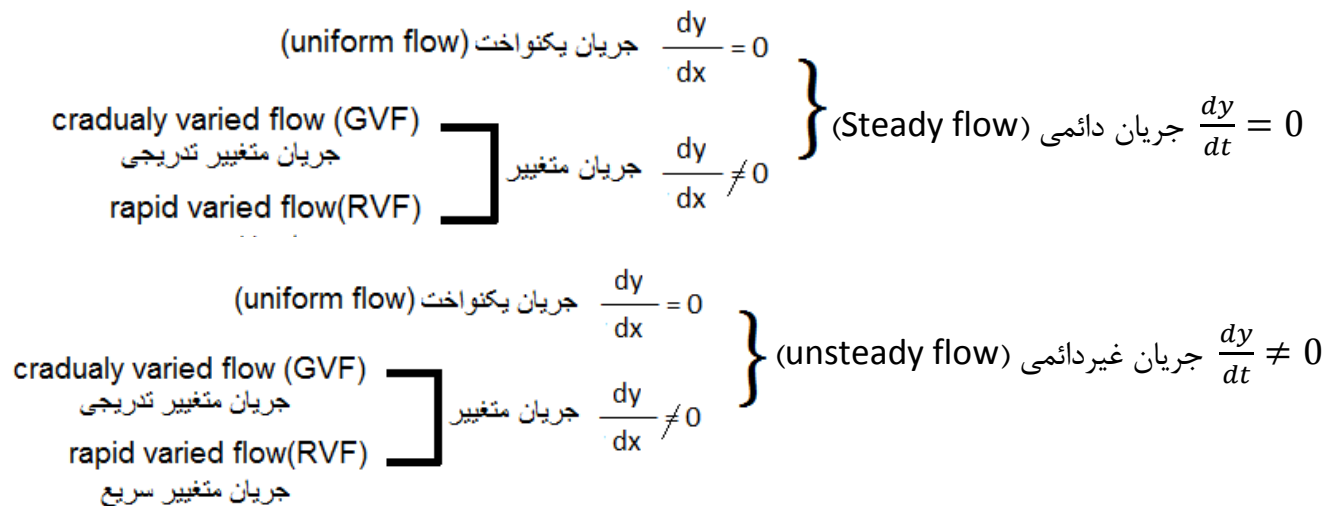
۲۱- شکل هندسی مقطع مهم ترین عضو روی جریان می باشد

انواع جریان

برای درک مسائل گوناگون مربوط به کانال های باز ابتدا بایستی انواع جریان (Types of flow) را مشخص نمود.

معمولی ترین و شاید ساده ترین نوع طبقه بندی انواع جریان (Types of flow) را می توان در کتاب (Open channel hydraulics) توسط Vente chow جستجو کرد

این طبقه بندی بر اساس تغییرات عمق جریان (Depth of flow) y نسبت به زمان یا محل وقوع در طول مسیر جریان x بنا شده است از این رو انواع جریان را می توان به شرح زیر خلاصه نمود

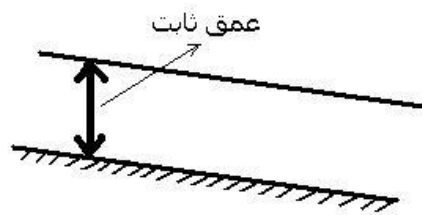


جریان دائمی (Steady flow)

در این نوع جریان ها در هر نقطه از مسیر حرکت عمق جریان (Depth of flow) y نسبت به زمان (t) تغییر نمی کند و یا به عبارتی تغییرات $\frac{dy}{dt} = 0$ یعنی مقدار شدت جریان (Discharge) Q نسبت به زمان ثابت می ماند. جریان های دائمی به دو دسته کلی تقسیم می شود:

۱- جریان یکنواخت دائمی (uniform steady flow)

در این حالت در مسیر حرکت تغییرات عمق جریان (Depth of flow) y در تمام مقاطع جریان برابر صفر و یا $\frac{dy}{dx} = 0$ مانند جریان آب در کانال های آبیاری



۲- جریان های متغیر دائمی یا غیر یکنواخت دائمی (Nouniform steady flow)

در این نوع جریان تغییرات عمق جریان در سطوح مقاطع مختلف جریان صفر نیست یا به عبارت

دیگر $\frac{dy}{dt} \neq 0$ است که دو حالت زیر در این جریانها مشاهده می گردد:

۱) جریان متغیر تدریجی (دائمی) (Gradually varied flow) یا (GVF) بیان می

گردد

۲) جریان متغیر سریع (دائمی) (Rapid varied flow) یا (RVF) بیان می گردد

۱-جریان متغیر تدریجی (دائمی) (Gradually varied flow):

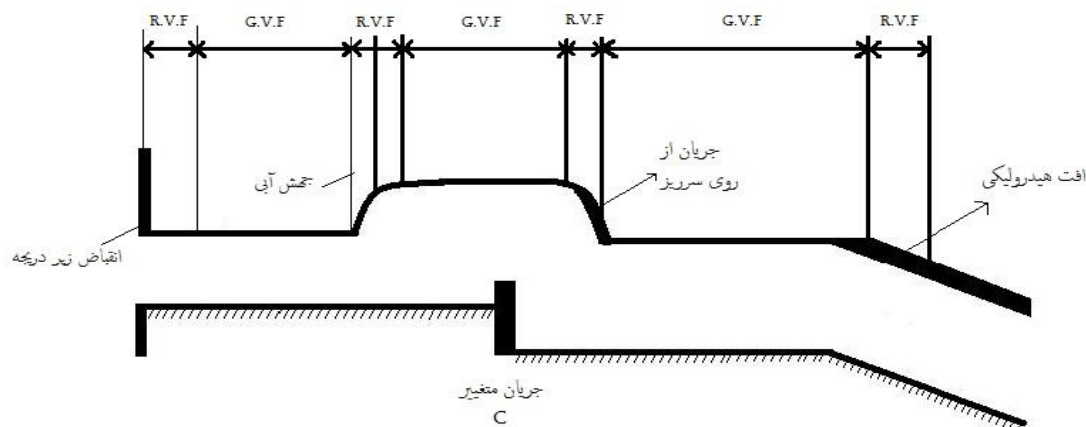
همانطور که از اسم آن معلوم است تغییرات عمق خیلی کند و تدریجی صورت می گیرد. این

جریان ها را اصطلاحاً جریانهای (GVF) می نامند مانند شکل زیر

۲ - جریان متغیر سریع (دائمی) (Rapid varied flow):

در این حالت عمق جریان (Depth flow) y در یک فاصله مکانی کوتاه ، x تغییرات زیادی را

نشان می دهد مانند عبور جریان از مسیر های خیلی تند

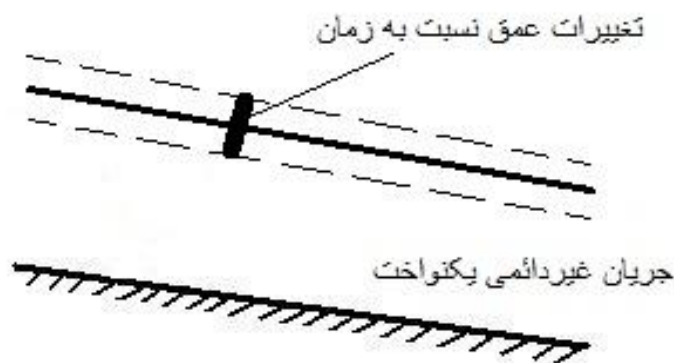


جران های غیر دائمی (Unsteady flow)

در این نوع جریان ها در نقطه از مسیر حرکت تغییرات عمق (Depth of flow) y نسبت به زمان t برابر صفر نیست یا $\frac{dy}{dt} \neq 0$ است مختصراً چنین می نماید که اگر عمق آب در یک نقطه از مسیر در زمان های مختلف اندازه گیری شود. عمق جریان یکسان نخواهد بود در واقع در این فاصله زمانی مقدار شدت جریان (Discharge) φ تغییر کرده است.

۱- جریان یکنواخت غیر دائمی (Uniform unsteady flow)

این جریان حالت خاصی از جریان های غیر دائمی است که $\frac{dy}{dt} \neq 0$ و از طرفی دیگر خاصیت یکنواختی (uniform) را که $\frac{dy}{dx} = 0$ حفظ کرده. این نوع جریان در طبیعت دیده می شوند.

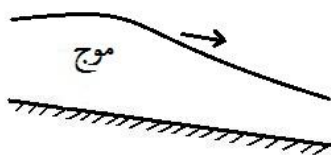


۲- جریان غیر یکنواخت غیر دائمی (Noun uniform unsteady flow)

این جریانها دارای حالت غیر دائمی و غیر یکنواخت هستند و یا به عبارتی ساده تر $\frac{d\phi}{dt} \neq 0$ و $\frac{dy}{dt} \neq 0$ این جریانها نیز مانند آنچه در جریانهای دائمی (steady) آمده در ۲ حالت زیر مشاهده می گردد.

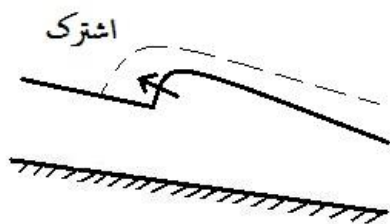
۱- جریان متغیر تدریجی (غیر دائمی) (G.V.F)

ایجاد این حالت عملاً مشکل می باشد
مانند حرکت یک سیلاب داخل یک کانال



۲- جریان متغیر سریع (غیر دائمی)

ایجاد این حالت عملی مشکل است
مانند بستن یک دریچه در یک کانال



مثال های واقعی از هر کدام از این جریانها را می توان در طبیعت یافت که به اختصار شرح زیر ذکر می گردد:

در جریانهای دائمی (Steady flow) عمق جریان y نسبت به زمان تغییر نمی کند لذا در یک سطح مقطع با سرعت ثابت می توان به جای $\frac{dy}{dt} = 0$ عامل و $\frac{dQ}{dt} = 0$ را ملات جریان های دائمی دانست و این موضوع به خوبی نشان می دهد در کانال ها یا مسیر های آبی که مقدار Q یا دبی جریان ثابت است جریان دائمی است برای مثال هرگاه در یک رودخانه یا کانالی در یک مدت t مقدار ثابت ۵ متر مکعب در ثانیه آب عبور کند جریان در طی این مدت یک جریان دائمی است. حال اگر در چنین جریانی عمق جریان در دو نقطه از مسیر جریان دارای سطح مقطع یکسان تغییر نکند چنین جریانی را یکنواخت دائمی و در غیر اینصورت جریان غیریکنواخت دائمی می گوئیم.

جریان های غیر دائمی (unsteady flow): از نقطه نظر ریاضی بررسی شدند از جنبه فیزیکی منظور از جریان یکنواخت غیر دائمی ایجاد جریانی است که سطح آب نسبت به زمان تغییر کند ولی همواره سطح آب موازی کف کانال باید و عملاً چنین جریانهایی غیرممکن است زیرا با تغییرات شدت جریان (Q Discharge) و ایجاد سطح آب موازی با کف در یک لحظه ناممکن به نظر می رسد. جریان های غیر یکنواخت، غیر دائمی (Noun uniform unsteady) و یا به عبارتی دیگر $\frac{dy}{dx} \neq 0$ و $\frac{dy}{dt} \neq 0$ است در این جریانهها شدت جریان (Q Discharge) متغییر و در ضمن عمق جریان (Depth of flow) نیز در مسیر جریان تغییر می کند. گاهی این تغییرات عمق به کندی و گاهی اوقات این تغییرات سریع اتفاق می افتد.

در هر حال چون جریان غیر دائمی یکنواخت وجود ندارد لذا وقتی از جریان غیر دائمی (Unsteady flow) نام برده می شود منظور جریان یکنواخت غیر دائمی (Noun uniform unsteady flow) است.

وضعیت و رژیم جریان (State of flow)

(۱) نیروی لزجت (اصطکاک)

(۲) نیروی ثقل

(۳) اینرسی

(۴) کشش سطحی که نادیده گرفته میشود

حالت یا طرز عمل جریان در یک کانال باز بوسیله اثر لزجت μ , Viscosity و نیروی ثقل g (gravity force) نسبت به نیروهای اینرسی (Intertial forces) مشخص و معین می شود.

البته در تحت نیروی کشش سطحی (Surface tension) نیز ممکن است بر حرکت جریان تاثیر بگذارد. اما این چندان مهم نیست و یا از لحاظ مهندسی مسئله کم اهمیتی است.

وضعیت جریان (State of flow) از لحاظ تاثیر لزجت (Viscosity) به سه دسته زیر تقسیم بندی می شوند

۱- جریان خطی (Laminar flow) (آرام) یا لایه ای : نیروی لزجت نسبت به نیروی اینرسی

بزرگتر بوده و ذرات آب در راستای اصلی حرکت بر روی یکدیگر می لغزند.

۲- جریان آشفته (Turbulent flow) (متلاطم) : نیروی اینرسی نسبت به نیروی لزجت

بیشتر بوده و ذرات آب از مسیر اصلی خود خارج شده و دارای حرکت پراکنده غیر منظم

در عرض می شود.

۳- جریان واسط (Transitional flow) (انتقالی) : حد و وسط بوده که در آن جریان به آرام

یا آشفته تبدیل می گردد

برای این جریان ها در حد واسط دو نوع جریان (Laminar) و آشفته (Turbulent) قرار دارند که برای تشخیص از کمیتی به نام عدد رنالدز (رینولدز) که نشان دهنده اثر لزجت نسبت به اینرسی می باشد به صورت زیر :

$$R = \frac{VL}{g} = \frac{VR_h}{g}$$

$$R = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی لزجت}}$$

توجه:

V: سرعت مشخصه جریان

L: طول مشخصه جریان

g: شتاب ثقل آب می باشد

D: قطر (عمق هیدرولیکی)

پس برای تعیین سه وضعیت از نتایج زیر عدد Fr به صورت زیر استفاده می شود.

(Super critical) الف : $Fr > 1$ جریان فوق بحرانی : برای یک دبی ثابت عمق جریان کم و سرعت زیاد می شود

(Sub critical) ب : $Fr < 1$ جریان زیر بحرانی : برای یک دبی ثابت عمق جریان بالا و سرعت کم می شود

(Critical) ج : $Fr = 1$ جریان بحرانی در کانال وجود خواهد داشت

رژیم جریان :

از اثر مشترک نیروی ثقل و نیروی لزجت رژیم جریان کانال های روباز مشخص می گردد

- رژیم جریان زیر بحرانی و آرام (تحت بحرانی) $Re < 500$ $Fr < 1$
- رژیم جریان زیر بحرانی و آشفته (تحت بحرانی) $Re > 2000$ $Fr < 1$
- رژیم جریان فوق بحرانی و آرام $Re < 500$ $Fr > 1$
- رژیم جریان فوق بحرانی و آشفته (تحت بحرانی) $Re > 2000$ $Fr > 1$

عدد رینولدز بدون بعد است لذا در سیستم های انگلیسی و متریک می توان به همین صورت استفاده گردد.

رابطه رینولدز :

V : سرعت متوسط جریان

P : چگالی

μ : لزجت دینامیکی

L : طول مشخصه جریان

که براساس مشاهدات تجربی برای کانال های باز روابط زیر حاکم بر جریان می باشد :

۱- جریان آرام یا لایه ای $\leftarrow Re \leq 500$

۲- جریان انتقالی $\leftarrow 500 \leq Re \leq 2000$

۳- جریان آشفته $\leftarrow R \geq 2000$

رابطه فرود و یا تاثیر نیروی ثقل:

تاثیر نیروی ثقل در قالب پارامت دینامیکی بی بعد فرود استفاده می شود که به صورت زیر تعریف می گردد.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad \text{و} \quad Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \propto \sqrt{\frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی ثقل}}}$$

- نکته : عدد مهم در جریان با سطح آزاد عدد فرود است ولی در جریان تحت فشار عدد رینلودز می باشد

فصل دوم :

بررسی انواع کانال باز و مطالعه عوامل سرعت و فشار

در یک تعریف انواع کانال ها شامل کانال های طبیعی و مصنوعی ،فلوم(کانال پایه دار)، تند آبراه، شوت(کانال با شیب تند) و کالورت از انواع کانال هایی می باشند که می توان که در علم هیدرولیک نام برد

انواع کانال باز:

به طور کلی کانال باز به نوعی از مسیر جریان که دارای سطح آزاد آب است گفته می شود
بر اساس اصل فوق و مبنای پیدایش به دو دسته کانالها تقسیم بندی می گردند:

۱- کانال های طبیعی (Natural channel)

۲- کانال های مصنوعی (Artificial channel)

۱-کانال های طبیعی (Natural channel) :

به آندسته از مجاری آب که به طور طبیعی در خط القعر یک حوضه آبگیر پدید می آید و عملا به صورت زهکش طبیعی عمل می نمایند. از خواص عمده این مجاری: نامنظمی مسیر و سطح مقطع جریان رودخانه است.

مطالعه این کانالها تحت عنوان بررسی رودخانه ها (River study) مورد مطالعه قرار می گیرند

۲- کانال های مصنوعی (Artificial channel) :

به آندسته از کانال هایی اطلاق می شود که بدست بشر و به منظور و هدف خاصی ساخته شده در این مورد می توان مثالهای زیادی مانند هدایت آب از سد های ذخیره ای به مزارع، استفاده از کانال ها برای ایجاد زهکش، کانال های بزرگ جهت کشتیرانی از جمله کانالهای ساخته شده بدست بشر برای هدف خاص می باشد

تقسیم بندی بر مبنای تغییرات در سطح مقطع کانالها :

۱- کانالهای منشوری (Prismatic channel)

کانال هایی هستند که در مسیرشان دارای سطح مقطع و شیب ثابت می باشد. کانال های مصنوعی عمدتاً منشوری هستند در این نوع کانال ها عمق جریان (Depth of flow) و شیب (Slope) ثابت ساخته می شوند

۲- کانال های غیر منشوری :

کانال هایی هستند که در مسیر آنها سطح مقطع و یا شیب کانال تغییر می کند. کانال های طبیعی حالت غیر منشوری داشته و در مسیر جریان سطح مقطع و شیب کانال دستخوش تغییرات می شوند.

تقسیم بندی بر اساس پایداری مصالح جداره آنها :

۱- کانالهایی با جداره ثابت: کانال هایی هستند که مصالح جداره آنها ثابت و غیر متحرک می باشد. این کانال ها از مصالح سخت نظیر بتن، چوب، فلز و یا مصالح بنایی ساخته می شوند

۲- کانالهایی با جداره متحرک : در مقایسه با کانالهایی با جداره ثابت می توان کانال های مصنوعی و یا طبیعی را در نظر گرفت که در تشکیلات آبرفتی جریان دارند و در نتیجه

جداره این کانال ها از ذرات رسوبی تشکیل یافته است و ذرات این قابلیت را دارند تا تحت تاثیر جریان آب به حرکت در آیند

در شرایط مختلف کانال های باز نام های گوناگون به خود می گیرند که شرح و بررسی آن ضروری است :

۱- کانال (Canal) : معمولاً به مسیری از جریان گفته می شود که طول آن زیاد، شیب آن کم یا ملایم یا آرام باشد

۲- نه‌رپایه (Flume) : به کانال هایی اطلاق می گردد که از چوب، فلز ، بتن یا مصالح ساختمانی دیگر ساخته شده باشد

این کانال ها معمولاً از سطح زمین بالاتر بنا می شوند و طبیعتاً طول آنها زیاد نیست، از نه‌رپایه برای انتقال آب از یک طرف خط القعر به طرف دیگر آن استفاده می شود

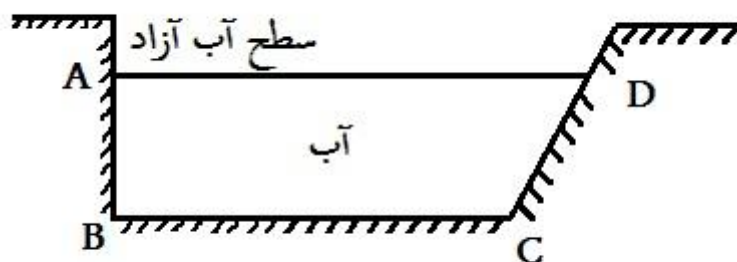
۳- تندآبراه (Chute) : از جمله کانال های بازی است که به طور معمول طول آنها زیاد نیست ولی شیب این کانال ها زیاد است.

۴- شیب شکن (Drop) : این کانال ها شبیه تند آبراه (Chute) هستند که تغییر در ارتفاع کف کانال در یک فاصله خیلی کوتاه اتفاق می افتد.

۵- آبرو (Culvert) : این کانالها از نوعی مجاری آب است که در زیر راه، بزرگ راه، راه آهن برای انتقال آب از یک طرف جاده به طرف دیگر به کار می رود .
تونل آبی (Open flow channel) که شبیه تونل برای ارتباطات است برای عبور آب از قسمت های تپه ماهوری و کوهستانی به کار می روند. ساختمان این مجاری در زیر زمین یا از سوراخ کردن کوه و گذشتن از موانع دیگر درست می شود

انواع سطح مقطع جریان و اجزاء آن : مقاطع پر کاربرد

اصطلاحاتی زیر در یک سطح مقطع کانال :



دورقه ABCD

A سطح مقطع : (Cross_sectional area) : به سطح عمود بر جهت جریان اطلاق می شود

P پیرامون مرطوب : (Wetted perimeter) : طول خط تلاقی بین سطح مقطع جریان و

بستر کانال را به نام پیرامون مرطوب P می نامند، یا طول قسمتی از مقطع که توسط آب خیس شده است

$$P = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD}$$

R_h شعاع هیدرولیکی : (Hydraulic radius) : عبارت از نسبت سطح مقطع جریان A به

$$R_h = \frac{A}{P} \text{ یا } P \text{ پیرامون مرطوب}$$

T عرض سطح آزاد : (Top width) : به طول خطی از سطح مقطع جریان A که با اتمسفر در

تماس است گفته می شود یا طول مرزی از مقطع جریان که در تماس با هوای آزاد باشد را

$$T = A \cdot D \text{ عرض سطح آزاد می نامیم}$$

D عمق هیدرولیکی : (Hydraulic depth) : عبارت از نسبت سطح مقطع جریان به عرض

$$D = \frac{A}{T} \text{ می باشد}$$

Y عمق جریان : (Depth of flow) : منظور از عمق جریان ، عمق از پائین ترین نقطه سطح مقطع جریان یک کانال باز از سطح آزاد جریان است. این عمق بر سطح افق عمود است.

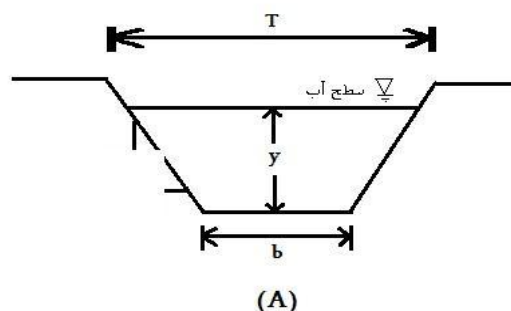
d عمق جریان سطح مقطع : (Depth of flow section) : به عمقی از جریان که عمود بر جهت جریان است گفته می شود. اگر کانال با شیبی به زاویه θ مطرح باشد ($y = d \cos \theta$) و هنگامیکه θ خیلی کم در نظر گرفته شود $\cos \theta = 1$ و لذا $y = d$

EL سطح ایستایی : (Water stage) : در واقع سطح ایستایی یک جریان به ارتفاع یا فاصله سطح آب از یک سطح مبنا بستگی دارد و برای اندازه گیری آن بایستی فاصله عمود بر افق را به حساب آورد.

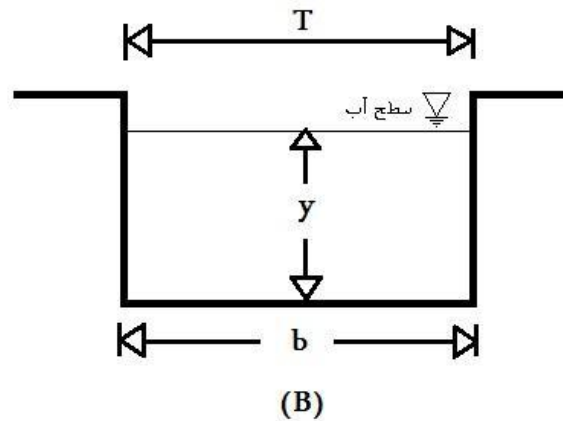
Z فاکتور سطح : (Section factor) : فاکتور سطح از حاصلضرب سطح مقطع جریان A و در ریشه دوم عمق هیدرولیکی D بدست می آید

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}} = \frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}}}$$

معمولی ترین شکل سطح مقطع است که برای کانال های آبیاری به کار می رود. علت این است که شیب کناره باعث ایجاد پایداری در کانال های خاکی یا غیر خاکی دوزنقه ای می شود. ساختمان این کانال ساده و در هر محلی عملی است

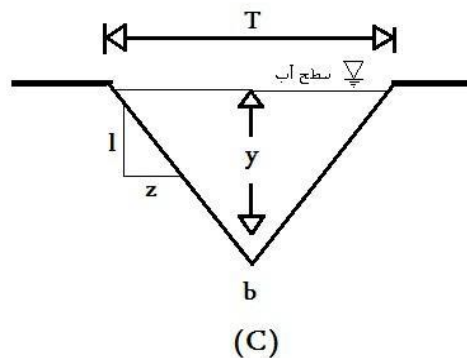


شکل (A) : سطح مقطع دوزنقه ای (Trapezoidal cross section)



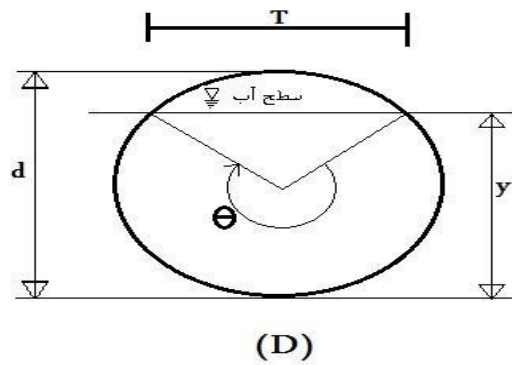
شکل (B) : سطح مقطع مستطیلی (Rectangular cross section)

به علت عمود بودن دیواره ها معمولا با مصالح ساختمانی سخت ساخته می شود. این کانال ها برای انتقال آب خیابانها و یا در طرح های آبی و آبیاری استفاده می شود



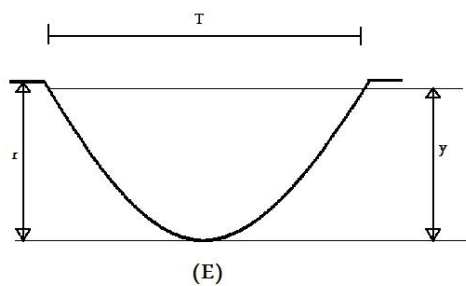
شکل (C) : سطح مقطع مثلثی (Triangular cross section)

این کانال ها معمولا برای انتقال مقدار کم آب در حاشیه خیابانها، جاده ها یا کارهای آزمایشگاهی به کار می رود.



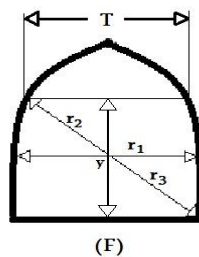
شکل (D) : سطح مقطع دایره ای (Circular cross section)

این کانال ها برای آبرو ها (Culvert) و لوله های فاضلاب با مقادیر کم و متوسط آب طرفدار زیاد دارد.



شکل (E) : سطح مقطع سهموی (Parabola cross section)

این کانال ها را به علت پایداری در بستر طبیعی خاک می سازند . این نوع کانالها با اندازه های کوچک و متوسط به کار می رود.



شکل (F) : سطح مقطع تونلی (Tunnel cross section)

این نوع سطح مقاطع که با مصالح سخت ساخته می شود و در آبروهای زیر سطح زمین به کار می رود و یک نوع استاندارد آن به نام تونل نعل اسبی استاندارد (Standard horseshoe tunnel) دیده می شود

مثال : در یک کانال مستطیلی با عرض کف زیاد (کانال زیاد) جریان آب با لزجت سینماتیکی $\nu = 2 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ و با سرعت $V=10m/s$ جاری است. حداکثر عمق آب چقدر باشد تا جریان آرام باقی بماند؟

$$\mu = \rho \cdot \nu \rightarrow \nu = \frac{\mu}{\rho} \rightarrow Re = \frac{\rho \cdot v \cdot R}{\mu} \rightarrow Re = \frac{\rho \cdot v \cdot R}{v \cdot \rho} \rightarrow Re = \frac{v \cdot R}{\nu} \rightarrow$$

$$500 = \frac{10 \times y}{2 \times 10^{-5}} \rightarrow y = .001m = 1mm$$

چون کانال عریض است پس $R=g$

مثال : در یک کانال مثلثی با شیب جداره های یک به یک ۱:۱ آن بادی با $Q = 3 m^3/s$ در جریان است. اگر عمق جریان در این کانال ۱ باشد نوع رژیم جریان کدام است؟

$$g = 10m/s^2, \quad Q = 3m^3/s, \quad y=1m, \quad Z=1m$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot R}{\mu} = \frac{1000 \times 3 \times \sqrt{2}}{10^{-3}} = 3\sqrt{2} \times 10^6 > 12500 \text{ جریان آشفته}$$

$$Q = V \cdot A \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{3}{z \cdot y^2} = \frac{3}{1 \times 1^2} \rightarrow V = 3 m/s$$

مثال : اگر در یک کانال با مقطع مستطیلی عرض کف ۶ متر و عمق جریان ۰,۴ متر دبی جریان $5m^3/s$ و درجه حرارت آب $20^\circ C$ باشد حالت و رژیم جریان را مشخص کنید

حل : برای آب $20^\circ C$ مقدار $\nu = 1.003 \times 10^{-6} m^2/s$ می باشد

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5}{6 \times 0.4} = 2.083 \text{ m/s}$$

$$y = \frac{A}{b} = \frac{6 \times 0.4}{6} = 0.4 \text{ m}$$

$$\rho = b + 2y = 6 + 2 \times 0.4 = 6.8 \text{ m} \quad \rightarrow \quad R_n = \frac{A}{\rho} = \frac{2.4}{6.8} = 0.353 \text{ m}$$

$$Re = \frac{VR_n}{\nu} = \frac{2.083 \times 0.353}{1.003 \times 10^{-6}} \rightarrow Rn = 7.33 \times 10^5$$

چون $R_2 > 2000$ است جریان متلاطم است همچنین

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} = \frac{2.083}{\sqrt{9.81 \times 0.4}} \rightarrow Fr = 1.052$$

چون $Fr > 1$ می باشد لذا جریان فوق بحرانی نیز می باشد

Note: بنا بر این حالت کلی جریان فوق بحرانی و متلاطم است

مثال اول

ابی به صورت یکنواخت و با دبی $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ در یک کانال دوزنقه ای با مشخصات $b=3.05 \text{ m}$ و

$Z=1.5$ در جریان می باشد. عمق جریان 1.22 m می باشد. رژیم جریان را مشخص نمائید

ضریب لزجت یا ویسکوزیته ($\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) در نظر گرفته شود

با توجه به جدول :

$$R = \frac{A}{\rho} = \frac{(b + z \cdot y)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} R = \frac{(3.05 \times 1.22 + 1.5(1.22)^2)}{3.05 + 2 \times 1.22\sqrt{1 + 1.5^2}} = 8 \text{ m} \rightarrow R = 0.8 \text{ m}$$

$$A = (b + z \cdot y)y = 3.05 + 1.22 + 1.5(1.22)^2 = 5.954 \text{ m}^2 \rightarrow A = 5.954 \text{ m}^2$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{(3.05 + 1.5 \times 1.22)1.22}{3.05 + 2 \times 1.5 \times 1.22} \rightarrow D = 0.887m$$

مشخصات هیدرولیکی مقطع جریان عبارت است از :

$$V = \frac{\varphi}{A} \rightarrow V = \frac{8.5}{5.954} \rightarrow V = 1.43 \text{ m/s}$$

$$R = \frac{V \cdot R}{\vartheta} = \frac{1.43 \times 0.8}{10^{-6}} = 1.144 \times 10^6 > 2000 \text{ جریان زیر بحرانی}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.43}{\sqrt{9.81 \times 0.887}} = 0.485 < 1 \text{ جریان آشفته}$$

Note: پس نتیجه گیری کلی جریان زیر بحرانی – آشفته می باشد.

توزیع سرعت در کانال های باز :

از آن که جریان آب در کانال تحت تاثیر عواملی مانند لزجت آب، تماس با جداره های کانال، تماس

با هوا در سطح آزاد آب و همچنین نامنظمی مقاطع قرار می گیرد

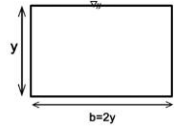
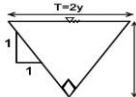
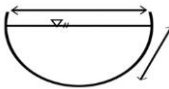
لذا توزیع سرعت در کانالهای پیچیده بوده و به صورت غیر یکنواخت می باشد لذا با اندازه گیری

سرعت طولی در چند نقطه از یک مقطع از جریان می توان منحنی های هم سرعت را رسم نمود

نتایجی که از ترسیم این منحنی ها حاصل می گردد این است که مقدار سرعت در جداره ها صفر

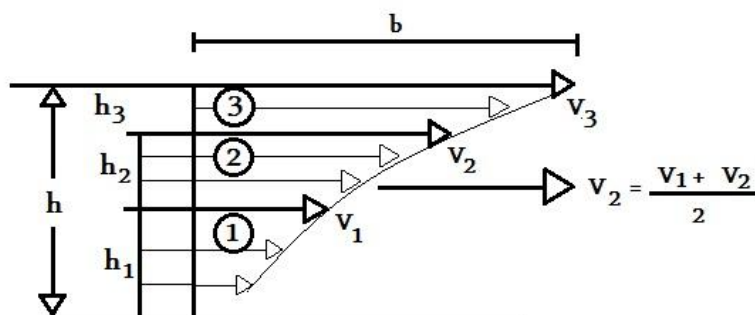
بوده و با دور شدن از جداره ها افزایش می یابد. تغییرات در نزدیکی مرزها شدیدتر می باشند و

سرعت ماکزیمم در هر مقطع قائم در نزدیکی سطح آب اتفاق می افتد .

مقطع	A	P	R	T	D	
دوزنقه (نصف شش ضلعی)	$\sqrt{3}y^2$	$(2\sqrt{3}y)$	$\frac{y}{2}$	$\frac{4\sqrt{3}}{3}y$	$\frac{3y}{4}$	 $b = \frac{2\sqrt{3}}{3}y$
مستطیل (نصف مربع)	$2y^2$	$4y$	$\frac{y}{2}$	$2y$	y	 $b = y$
مثلث (نصف مربع)	y^2	$(z\sqrt{z})y$	$\frac{\sqrt{2}}{4}$	$2y$	$\frac{\pi}{2}$	 $T = 2y$
نیم دایره	$\frac{\pi y^2}{2}$	π_y	$\frac{y}{2}$	$2y$	$\frac{\pi y}{4}$	 $d = 2y$

الف) توزیع سرعت در راستای عمق کانال

ب) توزیع سرعت در راستای عرض کانال



$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{و} \quad \bar{V} = \frac{\text{جمع سرعت ها}}{2}$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \rightarrow \bar{V} = \frac{\bar{V}_1 A_1 + \bar{V}_2 A_2 + \bar{V}_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$\bar{V} = \frac{\frac{(\bar{V}_1 + \bar{V}_2)}{2} \times h_1 \times b + \frac{(\bar{V}_1 + \bar{V}_2)}{2} \times h_2 \times b + \frac{(\bar{V}_2 + \bar{V}_3)}{2} \times h_3 \times b}{h_1 \times b + h_2 \times b + h_3 \times b}$$

* برای توزیع سرعت در عمق کانال چون از رو به رو به کانال نگاه کرد پس اندازه b با همان عرض

را مدنظر میگیریم

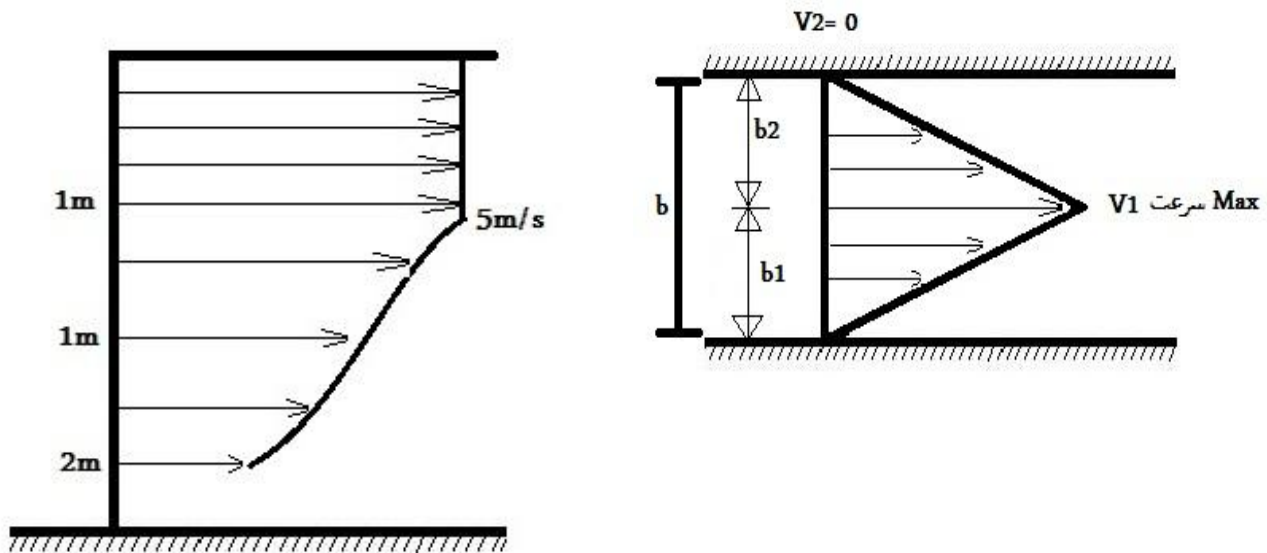
* برای اینکه بفهمیم کانال عمیق است یا عریض اگر دوطرف کانال را خط کوچک زده بودن کانال را

عریض و اگر یک طرف آن را خط زدن کانال عمیق است

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\bar{V}_1 A_1 + \bar{V}_2 A_2}{A_1 + A_2} \rightarrow \bar{V}$$

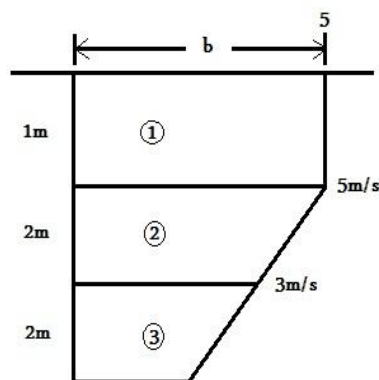
$$= \frac{\frac{(V_0 + V_1)}{2} \times b_1 \times h + \frac{(V_1 + V_2)}{2} \times b_2 \times h}{b_1 \times h + b_2 \times h}$$



مثال : در یک کانال مستطیل سرعت متوسط جریان را در دو وضعیت زیر بیابید:

الف) توزیع سرعت در راستای عمق کانال

ب) توزیع سرعت در عرض کانال



$$V_1 = \frac{5+5}{2} = 5, \quad A_1 = 1 \times b$$

$$V_2 = \frac{5+3}{2} = 4 \quad , A_2 = 1 \times b$$

$$V_3 = \frac{3+0}{2} = 1.5 \quad , A_3 = 2 \times b$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{(5)(1 \times b) + (4)(1 \times b) + (1.5)(2 \times b)}{(1 \times b) + (1 \times b) + (2 \times b)} = \frac{12}{4} = 3 \text{ m/s}$$

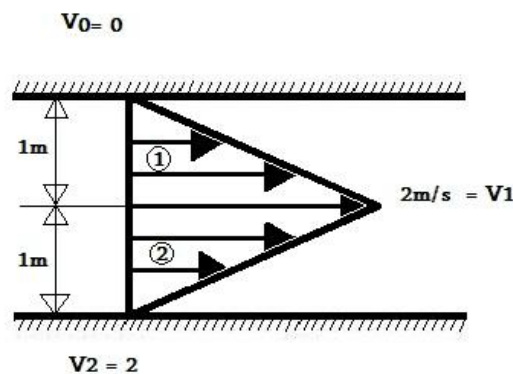
(ب)

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^2 \frac{\bar{V}_i A_i}{A_i} = \frac{1 \times (1 \times h) + 1 \times (1 \times h)}{(1 \times h) + (1 \times h)} \rightarrow \bar{V} = 1 \text{ m/s}$$

$$V_1 = \frac{0+2}{2} = 1 \text{ m/s} \quad , A_1 = 1 \times b$$

$$V_2 = \frac{2+0}{2} = 1 \text{ m/s} \quad , A_2 = 1 \times b$$

$$\rightarrow \bar{V} = 1 \text{ m/s}$$



Note : در مواردی که پروفیل سرعت مطرح می شود با نسبت دادن یک سرعت به کل جریان مقداری خطا در محاسبات وارد می شود. برای جبران این از ضرائب تصحیح α و β استفاده می شود

(۱) α : ضریب توزیع سرعت (Coriolis coefficient)

Note 1: $\bar{V}^3$ سرعت متوسط کل جریان

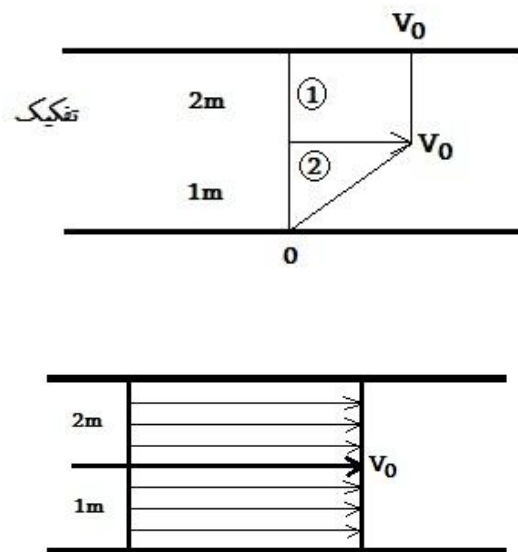
$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i^3 A_i}{\bar{V}^3 \sum_{i=1}^n A_i}$$
 ضریب تصحیح انرژی

۲) β : ضریب بویسنسگ (Boussinseq coefficient) یا ضریب ممتم (Momentum coefficient) یا V

Note ۲: $\bar{V}^2$ سرعت متوسط کل جریان

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i^2 A_i}{\bar{V}^2 \sum_{i=1}^n A_i}$$
 ضریب تصحیح اندازه حرکت

مثال: برای کانال زیر با پروفیل سرعت وارد شده، ضرائب تصحیح و اندازه حرکت و انرژی جنبشی را بدست آورید؟



حل:

$$\bar{V} = \frac{V_0 + V_0}{2} = V_0, \quad A_1 = 2 \times b$$

$$\bar{V} = \frac{V_0 + 0}{2} = \frac{V_0}{2}, \quad A_2 = 1 \times b$$

$$\rightarrow \bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \rightarrow \bar{V} = \frac{(V_0)(2 \times b) + \left(\frac{V_0}{2}\right)(1 \times b)}{(2 \times b) + (1 \times b)} = \frac{5}{6} V_0 \rightarrow \bar{V} = \frac{5}{6} V_0$$

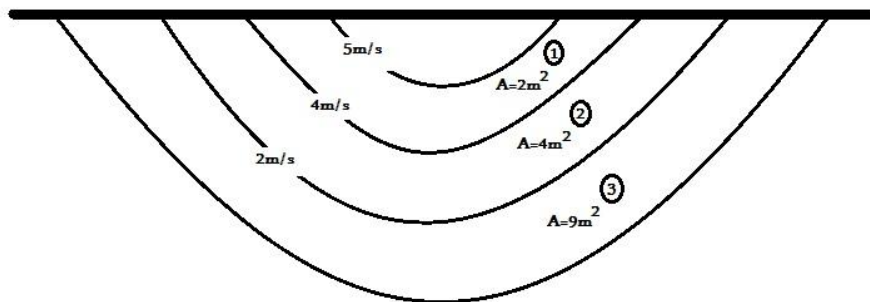
الف) اندازه انرژی جنبشی (ضرائب تصحیح)

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i^2 A_i}{\bar{V}^2 \sum_{i=1}^n A_i} = \frac{(V_0)^2(2 \times b) + \left(\frac{V_0}{2}\right)^2(1 \times b)}{\left(\frac{5}{6} V_0\right)^2 (2 \times b) + (1 \times b)} \rightarrow \beta = 1.08$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i^3 A_i}{\bar{V}^3 \sum_{i=1}^n A_i} = \frac{(V_0)^3(2 \times b) + \left(\frac{V_0}{2}\right)^3(1 \times b)}{\left(\frac{5}{6} V_0\right)^3 (2 \times b) + (1 \times b)} \rightarrow \alpha = 0.95$$

مثال : در شکل زیر با توجه به خطوط هم سرعت و سطح مشخص شدن ما بین آنها ضرایب تصحیح

انرژی α و اندازه حرکت β را پیدا کنید



$$\bar{V}_1 = \frac{5+4}{2} = 4.5 \text{ m/s}, A_1 = 2 \text{ m}^2$$

$$\bar{V}_2 = \frac{4+2}{2} = 3 \text{ m/s}, A_2 = 4 \text{ m}^2$$

$$\bar{V}_3 = \frac{2+0}{2} = 1 \text{ m/s}, A_3 = 9 \text{ m}^2$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i^3 A_i}{\bar{V}^3 \sum_{i=1}^n A_i} = \frac{(4.5)^3 \times 2 + (3)^3 \times 4 + (1)^3 \times 9}{(2)^3 \times (2 + 4 + 9)} \rightarrow \alpha = 2.5$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i^2 A_i}{\bar{V}^2 \sum_{i=1}^n A_i} = \frac{(4.5)^2 \times 2 + (3)^2 \times 4 + (1)^2}{(2)^2 (2 + 4 + 9)} \rightarrow \beta = 1/291$$

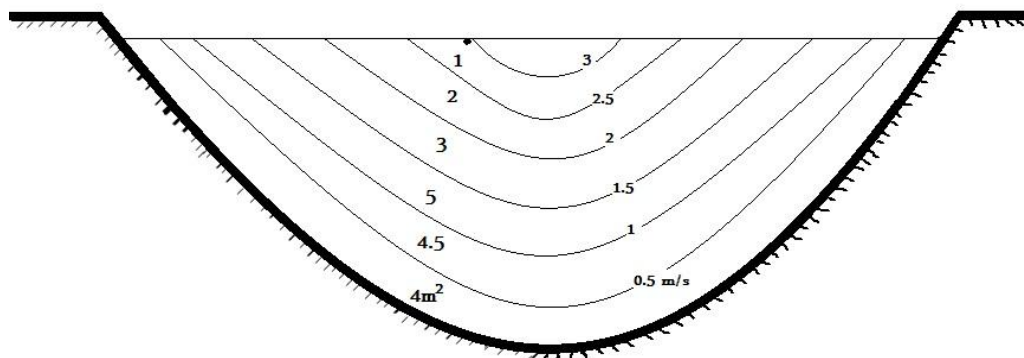
تذکر: پیرامون توزیع سرعت در کانال های باز می توان به نکات زیر اشاره کرد:

- ۱- مقدار سرعت در جداره ها صفر می باشد و با دور شدن از جداره ها افزایش می یابد
- ۲- گرادیان سرعت (شدت تغییرات سرعت) در مجاورت مرزها (جداره کانال و سطح آزاد جریان) شدیدتر می باشد
- ۳- سرعت حرکت معمولاً در مقوله $0.25y$ (عمق جریان y) تا $0.2y$ از سطح آزاد آب

تشکیل

می شود.

مثال : با توجه به منحنی های سرعت فرضی ترسیم شده سرعت متوسط و ضرایب α و β را بدست آورید . ارقام نوشته شده بین دو منحنی مساحت سطح واقعی بین دو منحنی هم سرعت می باشند.



حل :

$$Q = \int AV d_A = VA \rightarrow V = \frac{\int AV d_A}{A} \cong \frac{\sum V_i \Delta_i}{A}$$

V_i سرعت متوسط بین دو منحنی هم سرعت و A_i مساحت واقعی در بین ۲ منحنی هم سرعت می باشد که با استفاده از پلانی متر محاسبه می گردد .

$$\bar{V} = \frac{((3+2.5)0.2) \times 1 + 2.25 \times 2 + 1.75 \times 3 + 1.25 \times 5 + 0.75 \times 4.5 + 0.25 \times 4}{1+2+3+5+4.5+4} \rightarrow \bar{V} =$$

$$1.186 \text{ m/s}$$

$$Q = V.A = 1.186 \times 19.5 \rightarrow \varphi = 23.127 \text{ m}^3/\text{s}$$

ضریب انرژی جنبشی:

$$\alpha = \frac{\sum V_i^3 \Delta_i}{V^3 A} \rightarrow \alpha = \frac{2.75^2 \times 1 + 2.25^3 \times 2 + 1.75^3 \times 3 + 1.25^3 \times 5 + 0.75^3 \times 4.5 + 0.25^3 \times 4}{1.186^3 \times 19.5} \rightarrow \alpha = 2.19$$

اندازه حرکت:

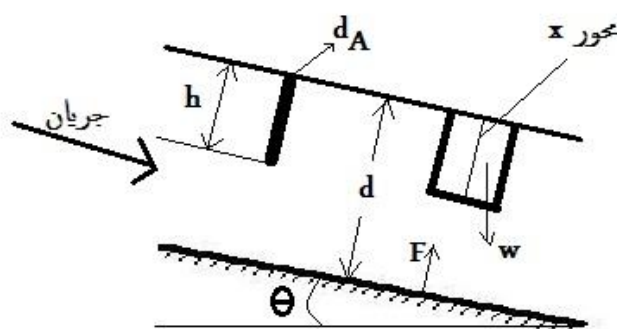
$$\beta = \frac{\sum V_i^2 \Delta \Delta_i}{V^2 A} = \frac{(2.75)^2 \times 1 + (2.25)^2 \times 2 + (1.75)^2 \times 3 + (1.25)^2 \times 5 + (0.75)^2 \times 4.5 + (0.25)^2 \times 4}{(1.186)^2 \times 19.5} \rightarrow \beta = 1.37$$

توزیع فشار در سطح مقطع کانال

منظور از تعیین توزیع فشار در کانال ها مشخص نمودن نحوه تغییرات پارامتر فشار در عرض و عمق در مقطع خاصی از کانال می باشد

برای توزیع فشار در کانال ها داریم:

الف) توزیع فشار در جریان های یکنواخت (موازی)



(یک کانال که با افق زاویه θ می سازد)

کانالی را با سطح مقطع دلخواه مانند شکل زیر در نظر میگیریم و جریان را یکنواخت فرض می کنیم

برای محاسبه توزیع فشار از آب به عمق h و سطح مقطع dA را در نظر میگیریم اگر معادله حرکت برای این ستون در جهت عمود بر خط جریان را بنویسیم داریم:

مولفه وزن در جهت عمود بر خطوط جریان = نیروی فشاری $\rightarrow \Sigma F_h = 0$

رابطه فوق قانون تغییرات هیدرواستاتیک فشاری می باشد.

$$P d_A = \gamma h d_A \cos \theta \rightarrow P = \gamma h \cos \theta$$

$$W = mg, \quad m = \rho v \rightarrow W = \rho g v \rightarrow W = \gamma v,$$

$$\rho_{\text{حجم}} = \begin{cases} \rho = \gamma h + \rho_0 \\ \text{یا} \\ \rho = \gamma d + \rho_0 \end{cases}$$

$$\Sigma F_h = 0 \rightarrow F = W \cos \theta \rightarrow W \cos \theta = P d_A \rightarrow \gamma d_0 d_A \cos \theta = P d_A \rightarrow$$

$$\gamma d_0 d_A \cos \theta = P d_A \rightarrow \boxed{P = \gamma d \cos \theta}$$

$$F = P_{dA}$$

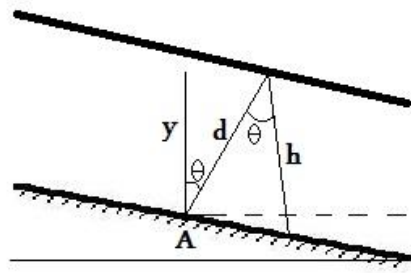
رابطه فوق فشار هیدرواستاتیک که در آن P فشار نسبی بوده و d تغییرات عمق در موضع مورد نظر در صفحه ای عمود بر جهت عمومی جریان می باشد. γ وزن مخصوص آب و θ زاویه شیب کانال می باشد.

اگر بخواهیم فشار در کف کانال را بدست آوریم می بایست :

چون سطح شیب دار است یک $\cos \theta$ اضافه می شود

نکته : نقطه A را در کف کانال شکل زیر در نظر بگیرید . اگر یکی از زاویه ها را دادن یعنی بقیه

همین زاویه ها برابرند (بقیه زاویه ها با هم برابرند)



y : فاصله قائم نقطه مورد نظر تا سطح آزاد

d : عمق آب در نقطه مورد نظر

h : هد فشار در نقطه مورد نظر

$$\begin{cases} h = d \cos \theta \\ d = y \cos \theta \end{cases} \xrightarrow{\text{به جای } d \text{ در رابطه}} h = d \cos \theta = y \cos^2 \theta \rightarrow h = y \cos^2 \theta$$

$$\rightarrow \rho = \gamma h = \gamma d \cos \theta = \gamma g \cos^2 \theta$$

$$\text{حد فشار} \quad \frac{\rho}{\gamma} = h = d \cos \theta = y \cos^2 \theta$$

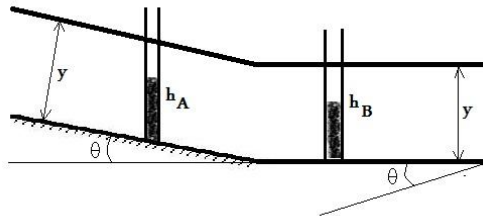
مثال : کف کانال با افق چه زاویه ای بسازد تا حد فشار در کف کانال برابر نصف عمق (d) گردد.

$$\frac{\rho}{\gamma} = \frac{d}{2} = d \cos \theta \rightarrow \cos \theta = \frac{1}{2} \rightarrow \theta = \cos^{-1} \left(\frac{1}{2} \right) = 60$$

نکته : چون گفته می شود با افق چه زاویه ای می سازد از نصف h که برابر $\frac{d}{2}$ می شود استفاده می

کنیم

مثال : در کانالی مطابق شکل دو پیزومتر در کف کانال و در نقاط A و B نصب گردیده در مورد ارتفاع پیزومتر ها چه قضاوتی دارید؟



$$P = \gamma h = \gamma d \cos \theta = \gamma y \cos^2 \theta$$

$$P = \gamma y \cos^2 \theta \rightarrow \gamma h = \gamma y \cos^2 \theta \rightarrow h = y \cos^2 \theta$$

$$\frac{h_A}{h_B} = \frac{y \cos^2 \theta_1}{y \cos^2 \theta_2} \rightarrow \frac{h_A}{h_B} < 1 \rightarrow h_B > h_A$$

پس نتیجه می گیریم : ارتفاع آب در نقطه B بیشتر است و هرچه شیب بیشتر باشد ارتفاع آب آن نقطه کمتر یا هرچه زاویه بزرگتر $(\cos^2 \theta)$ آن زاویه کمتر و برعکس می باشد.

تمرینات سری اول

۱- سیال را تعریف کنید؟

سیال ماده ای است که تحت اثر تنش پرش ی دائماً تغییر شکل می دهد و به عبارت دیگر

جاری

می شود

۲- کمیت های فیزیکی را بر چه اساسی تعریف می کنند؟

کمیت های فیزیکی را می توان بر حسب ۳ کمیت اصلی جرم (m) و طول (L) و زمان (T)

بیان می کرد

۳- واحد و دیمانسیون نیرو را نام و شرح دهید؟

واحد نیرو نیوتون (N) نام دارد. نیوتون نیرویی است که به جرم 1kg شتابی به اندازه 1m

می دهد یعنی $1\text{N} = 1\text{kg.m/s}^2 \leftarrow 1\text{N} = 1\text{kg/m.s}$ و دیمانسیون و یا بعد MLT^{-2}

۴- واحد و دیمانسیون کار و توان را نام ببرید و شرح دهید؟

واحد کار ژول (J) نام دارد. ژول حاصل از جابه جایی نیرویی ۱ نیوتن به اندازه ۱ متر

است.

$$1\text{J} = 1\text{N.m}$$

یا کار انجام شده در واحد زمان را درست است $1\text{W} = 1\text{N.m/s} = 1\text{J/s}$

دیمانسیون کار ML^2T^{-2}

دیمانسیون توان ML^2T^{-3}

۵- جرم مخصوص و وزن مخصوص و چگالی و لزجت (ویسکوزیته) را تعریف کنید

۱- جرم مخصوص یا دانسیته : عبارت است از جرم واحد حجم آن، دانسیته را با حروف ρ (رو) نشان

می دهند و بعد یا دیمانسیون ML^{-3} و واحد آن kg/m^3 است.

۲- وزن مخصوص : عبارت است از نیرویی که جاذبه ثقل زمین بر واحد حجم آن وارد می کند، وزن

مخصوص را با γ (گاما) نشان می دهند و دیمانسیون وزن مخصوص

$ML^{-2}T^{-2}$ و واحد آن N/m^3 است. میتوان نوشت $\gamma = \rho g$

۳- چگالی : چگالی یا دانسیته نسبی یک ماده عبارت است از نسبت دانسیته آن به دانسیته آب در

دما و فشار استاندارد چگالی بی بعد است

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad \gamma = \rho \cdot g = 1000 \times 9.81 \simeq 10000 \text{ N/m}^3$$

۴- لزجت یا ویسکوزیته : لزجت یا ویسکوزیته خاصیتی از سیال است که سبب مقاومت آن در مقابل

تغییر شکل زاویه ای می شود. این خاصیت ناشی از چسبندگی و اثر متقابل آنها بر یکدیگر است

تمام سیالات لزج هستند سیالاتی را که رابطه میان تنش پرش ی و نرخ تغییر شکل آنها خطی

است

$$\text{قانون لزجت نیوتون} = \frac{du}{dy} \mu = \text{Kg/m.s} = \text{لزجت مطلق} = \text{ویسکوزیته} = \mu$$

$$\nu = \text{لزجت سینماتیک} = \frac{\text{لزجت دینامیکی}}{\text{دانسیته سیال}} = \zeta = \text{تنش ی پرش} = \text{لزجت سینماتیکی} : \nu$$

$$\text{نرخ تغییر شکل} = \text{گرادیان سرعت} = \frac{du}{dy} \quad St = \text{استوک} \leftarrow 1 \text{ cm}^2/\text{s}$$

* واحد کوچتری برای لزجت وجود دارد که پواز (P) نامیده می شود. پواز 1 gr/cm.s است

$$1 \text{ kg/m.s} = 10P$$

فصل سوم

اصل انرژی در کانال های باز

مقدمه ای بر اصل انرژی در کانال های باز :

کاربرد وسیع معادل انرژی در تحلیل مسایل کانال های باز و از طرفی ضرورت تفسیر معادله در بسیاری از موارد استفاده از مفهوم قراردادی تحت عنوان انرژی مخصوص را ایجاب نموده و مسایل خاص مورد بررسی در کانال ها عبارتند از تغییر ارتفاع کف و یا تغییر عرض مقطع کانال را مورد بررسی قرار دهیم

منظور از انرژی در کانال های باز عبارت از پتانسیلی که در روی یک خط جریان در یک سطح مقطع به صورت زیر ظاهر گردد

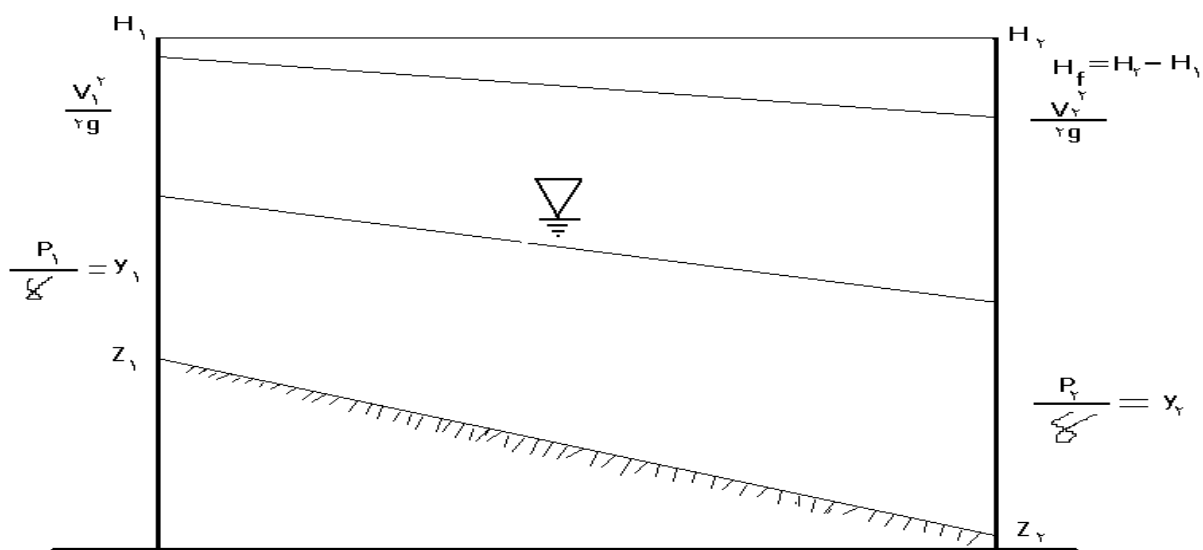
۱- انرژی ارتفاعی (Potential head) Z , که مقدار انرژی را برای واحد وزن سیال در ارتفاع نشان می دهد

۲- انرژی فشاری (Pressure head) h , که مقدار آن $h = \frac{P}{\gamma}$ برای واحد وزن سیال بدست می آید

۳- انرژی سرعتی (Velocity head) $\frac{V^2}{2g}$, که این انرژی برای واحد وزن سیال بیان گردیده است.

۴- افت انرژی (Energy . loss) h_f , با توجه به این که افت انرژی خود یک فرم از انرژی است که در سیستم کار مفید انجام نمی دهد لذا مقدار آن را می توان بر حسب واحد وزن

سی



در جریان کانال باز اولین مسئله تعیین این مطلب است که آیا معادله برنولی

$$\text{حد فشار} \quad \frac{P}{\gamma} = h = y \cos^2 \theta$$

$$\text{معادله انرژی} = \left(H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \right)$$

$$\text{معادله انرژی} = z + y \cos^2 \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

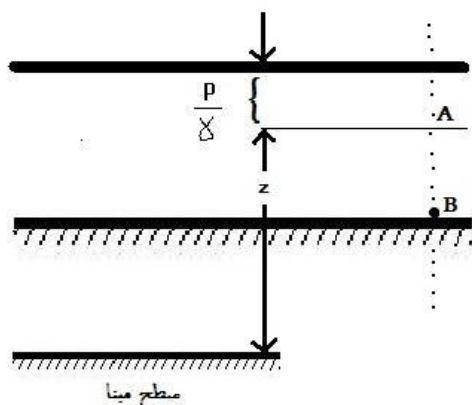
را می توان به کار گرفت

برای بررسی این مطلب فرض کنیم که سرعت جریان در تمام مقاطع کانال یکسان باشد لذا مورد

استفاده از پارامتر $\frac{V^2}{2g}$ در کانال ها مشکلی نخواهد بود . اما مقادیر دو پارامتر دیگر معادله برنولی در

مقطع جریان از نقطه ای به نقطه دیگر متفاوت می باشد.

حالا اگر شیب بستر کانال و شیب سطح آب (سطح آزاد آب) کم باشد در هر نقطه ای در داخل آب (نقطه A) انرژی نظیر فشار $(\frac{P}{\gamma})$ برابر با فاصله آن نقطه (A) تا سطح آزاد آب است و در نتیجه $(\frac{P}{\gamma} + Z)$ برابر با فاصله سطح آزاد آب تا سطح مبنا خواهد بود و مستقل از محل و موقعیت آن نقطه (A) می باشد



شکل ۳-۱ _ نمایش پارامترهای معادله برنولی در یک نقطه در داخل مایع

معادله انرژی در کانال باز را می توان به صورت زیر نوشت:

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

در رابطه بالا به جای سرعت بده جریان (Q) جایگزین شود $Q = A.V \rightarrow V = \frac{Q}{A}$ داریم

پس رابطه زیر به صورت :

$$y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Z_1 = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + Z_2 + h_f$$

*رابطه بالا برای بررسی انرژی جریان که در کانال های باز با مقاطع مختلف استفاده می گردد.

* از معادله انرژی برای تبدیل جریان بر اثر تغییر ارتفاع کف کانال استفاده می شود.

*اگر مقطع کانال مستطیلی و عرض B و عمق جریان y باشد در نتیجه سطح مقطع $A = B y$ و شدت جریان آن $Q = qB$ خواهد بود.

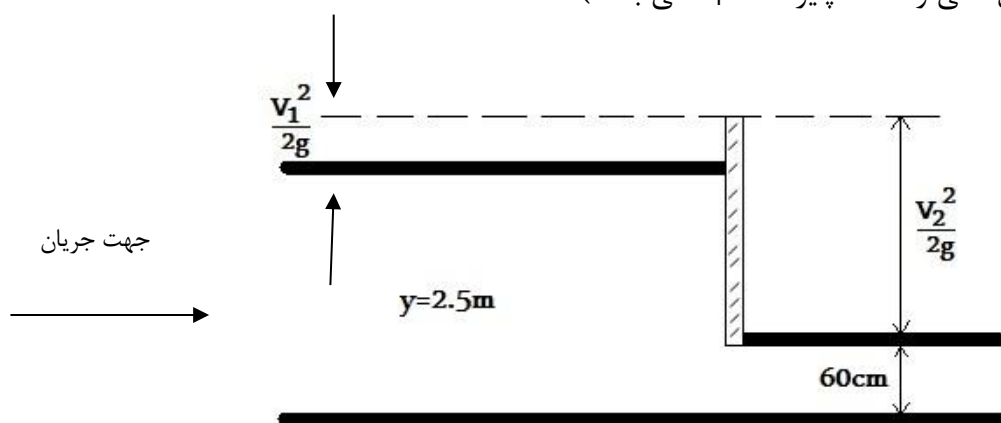
q : معرف شدت جریان در واحد عرض کانال می باشد با جایگزین $Q = q.B$ و $A = B y$ در معادله انرژی رابطه فوق برای مقطع مستطیلی به صورت زیر حاصل می گردد:

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} + Z_1 = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} + Z_2 + h_f$$

؟ کانال افقی و یا دارای شیب کم باشد. در این صورت $Z_1 = Z_2$ و رابطه بصورت زیر در خواهد آمد:

$$Y_1 + \frac{q^2}{2gY_1^2} + Y_2 + \frac{q^2}{2gY_2^2}$$

مثال : در شکل زیر ارتفاع آب قبل و بعد از دریچه کنترل به ترتیب برابر با 2.5 متر و 60 سانتی متر می باشد. دبی یا بده جریان را برای این کانال با مقطع مستطیلی به عرض 3 متر محاسبه نمایید (کانال افقی و افت ناچیز $h_f = 0$ می باشد)



حل : با توجه به اینکه کانال افقی بوده و افت انرژی h_f ناچیز بوده و قابل صرفنظر کردن است لذا معادله را به صورت زیر خواهیم نوشت:

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} + Z_1 = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} + Z_2 + h_f$$

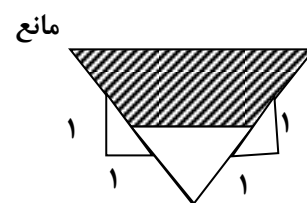
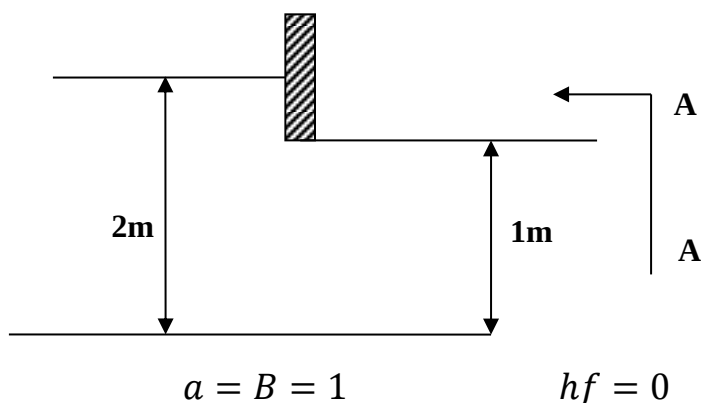
$$h_f = 0 \rightarrow y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}$$

در این رابطه با توجه به داده های مسئله $y_1 = 2.5\text{m}$ و $y_2 = 60\text{cm}$ مقدار دبی جریان q بدست می آید

$$\begin{aligned} 2.5 + \frac{q^2}{2 \times 9.8(2.5)^2} &= 0.60 + \frac{q^2}{2 \times 9.8(0.60)^2} \rightarrow 2.5 - 0.60 \\ &= \frac{q^2}{2 \times 9.8(0.60)^2} - \frac{q^2}{2 \times 9.8(2.5)^2} \rightarrow q^2 = 14.225 \rightarrow q \\ &= 3.77 \rightarrow Q = q.B \Rightarrow Q = 3.77 \times 3 \Rightarrow Q = 11.31 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

مثال:

مطابق صفحه هاشور خورده به صورت یک مانع در مسیر آب و در کانال مثلی با شیب جانبی یک به یک قرار گرفته است اگر عمق جریان قبل از مانع برابر با 2m باشد پس از مانع برابر 1 متر می باشد. سرعت جریان و نیز دبی عبوری از کانال در پایین مانع و از کانال چقدر می باشد. $B = 1$ و از افت انرژی موضعی صرف نظر کنید یعنی برابر 0 است.



Section A-A

$$y = 10 \text{ m/s}^2$$

رواج مبنا کف کانال: سپس داریم

$$Z_1 = Z_2$$

$$A_1 z Z. y^2 = 1 \times 2^2 = 4, \quad A_2 = 1 \times 1^2 = 1$$

$$y_1 + Z_1 + \frac{V_1^2}{2y} = y_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{2y} \Rightarrow 2 + \frac{V_1^2}{2y} = 1 + \frac{V_2^2}{2y} \quad \text{رابطه 1}$$

$$p_1 = p_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow 4 \times V_1 = 1 \times V_2 \Rightarrow V_2 = 4V_1 \quad \text{رابطه 2}$$

$$\frac{16 V_1^2}{2y} \Rightarrow = 1 + \frac{V_1^2}{2y} \quad \text{2 و 1 از رابطه +}$$

$$1 = \frac{15 V_1^2}{29} \Rightarrow V_1^2 = \frac{2 \times 10 \times 1}{15} \Rightarrow \boxed{V_1^2 = 1/33}$$

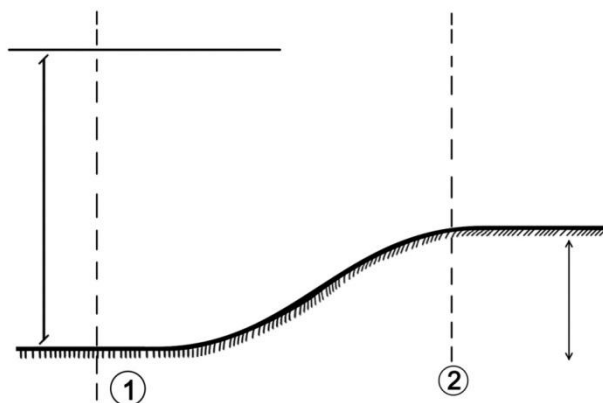
$$\boxed{V_1 = \sqrt{1/33} = 1/154} \Rightarrow Q = 1/154 \times 4 \Rightarrow \boxed{Q = 4/6 \text{ m}^3/\text{s}}$$

مثال: در کانال مستطیلی زیر که کف کانال به تدریج به اندازه (ΔE) بالا آورده شده است (از تلفات صرف نظر کنید).

(الف) رابطه انرژی بین دو مقطع ((۱)) و ((۲))

(ب) با توجه به معادلات پیوستگی مقدار سرعت در مقطع ((۲)) بر حسب y_2 چقدر می باشد. (ج) معادله انرژی را مستقل از (V_2) و بر حسب مقدار y_2 بدست آورید. (د) آیا می توان به کمک معادله حاصل شده در قسمت (ج) y_2 را بدست آورد.

$$y = 10m^1 \times b^2$$



عرض در دو مقطع ثابت است چون کانال مستطیلی است. (b)

$$H_1 = H_2 \quad (\text{الف})$$

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2y} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2y} \rightarrow$$

$$4 + \frac{1}{20} = Z_2 - Z_1 + y_2 + \frac{V_2^2}{2y} \rightarrow$$

$$4 + \frac{1}{20} = 5 + y_2 + \frac{V_2^2}{2y} \rightarrow y_2 + \frac{V_2^2}{20} = 3/55$$

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \rightarrow \quad (\text{ب})$$

$$b_{y_1} v_1 = b_{y_2} \cdot V_2 \rightarrow 1 \times 4 \times 1 = y_2 \cdot V_2 \times 1 \rightarrow$$

$$y_2 V_2 = 4 \rightarrow V_2 = \frac{4}{y_2}$$

$$y_2 + \frac{16}{y_2^2} = 3/55 \rightarrow y_2 + \frac{16}{y_2^2} = 3/55 \rightarrow \quad (\text{ج})$$

$$y_2^3 - 3/55 y_2^2 + 16 = 0$$

(د) نمی توانیم از معادله y_2 را بدست آوریم چون برای ما عملاً سخت است.

*** انرژی مخصوص (Specific Energy):**

$(E = y + \frac{V^2}{2y})$ که در آن مؤلفه «Z» یا سطح مبنا حذف می گردد. انرژی مخصوص در هر سطح مقطع در واحد وزن موقعی که کف کانال به عنوان مرجع باشد و یا می توان گفت انرژی مخصوص بیانگر فاصله خط انرژی تا کف کانال می باشد.

* نکته: اگر «q» دبی در واحد عرض کانال باشد رابطه انرژی مخصوص در این کانال به صورت زیر

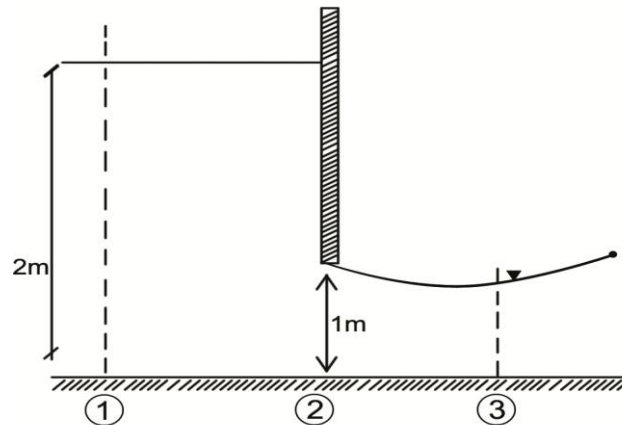
$$\text{می باشد:} \quad \dots = \frac{Q}{b} \leftarrow \text{دبی در واحد عرض}$$

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{q}{b \cdot y} \rightarrow V = \frac{q}{y}$$

انرژی مخصوص در واحد عرض چون در

$$\rightarrow E = y + \frac{Q^2}{2y^2} \quad \leftarrow \text{کانال مستطیل ها عرض ثابت است}$$

EX : در شکل زیر اگر ضریب فشردگی دریاچه ($C_c = 1/5$) و عرض کانال مستطیلی)) b
 (=2m باشد با توجه به عسق های مشخص شده دبی جریان چند m^3/s است. (از افت صرف
 نظر کرده و $g = 10$)



نکته: زیر دریاچه نمی توان رابطه انرژی را نوشت چون اختشاشات جریان زیاد است.

$$y_3 = C_c y_2 = 1/5 \times 1 = 1/5$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow y_1 + \frac{q_1^2}{2yy_1^2} = y_3 + \frac{q_3^2}{2yy_3^2} \rightarrow$$

$$\frac{q^2}{20 \times 4} = \frac{1}{2} + \frac{q^2}{20 \times \frac{1}{4}} \Rightarrow Q^2 = 8 \rightarrow Q = 2\sqrt{2} \quad m^2s \quad \text{در واحد عرض}$$

$$a = 2q = 4\sqrt{2} \, m^3/s$$

اگر گفته باشند دبی بر حسب m^3/s را حساب کنید چون عرض کانال را داده 2m بدست آمده
 را در عدد ((۲)) ضرب می کنیم و دبی بدست می آید.

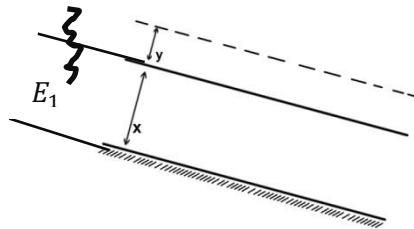
در کانال مستطیلی نسبت انرژی مخصوص به عمق جریان را بر حسب عدد ((Fr)) بصورت زیر
 بدست می آید.

$$E = y + \frac{V^2}{2y}$$

$$\xrightarrow{\text{تقسیم بر } y} \frac{E}{y} = 1 + \frac{V^2}{2y^2} = 1 + \frac{1}{2} (Fr)^2 \rightarrow \frac{E}{y} = 1 + \frac{1}{2} (Fr)^2$$

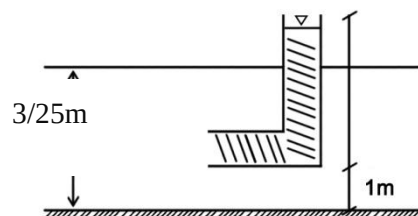
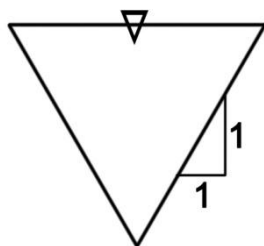
$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} \rightarrow Fr^2 = \frac{V^2}{gy}$$

* اگر لوله پیستونی در مسیر جریان در کانال قرار گیرد انرژی مخصوص برابر فاصله کف کانال تا سطح آب در لوله پتیوت می باشد.



مثال: در یک کانال مثلثی با شیب جداره یک به یک (۱ : ۱) آب با عمق (3m) جریان دارد در مقطعی از این کانال یک لوله پتیوت مطابق شکل و به فاصله در از کف کانال قرار داده شده است با توجه به شکل ارائه شده دبی عبوری از این مقطع چقدر می باشد. $g=10m/s^2$ و مقطع کانال

مثلثی ←



همچنین بررسی کنید که جریان زیر بحرانی است یا فوق بحرانی است؟

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \rightarrow 1 + 3/25 = 3 + \frac{V^2}{2 \times 10} \rightarrow V^2 = 25 \Rightarrow$$

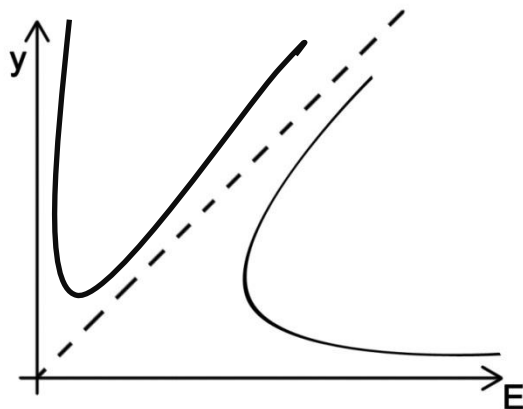
$$Q = A.V \rightarrow Q = Z.y^2 . V \rightarrow V = 5m/s$$

$$Q = 1 \times (3)^2 . 5 = 45m^3/s$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{yD}} \Rightarrow Fr = \frac{V}{\sqrt{g \frac{y}{2}}} = \frac{5}{\sqrt{10 \times \frac{3}{2}}} = \frac{5}{\sqrt{15}} > 1$$

* فوق بحرانی * چون مقطع مثلثی بوده است $D = \frac{y}{2}$ گرفتیم.

منحنی انرژی مخصوص بر حسب عمق جریان $((E - y))$ و اعماق متناوب



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

$$E = F(y)$$

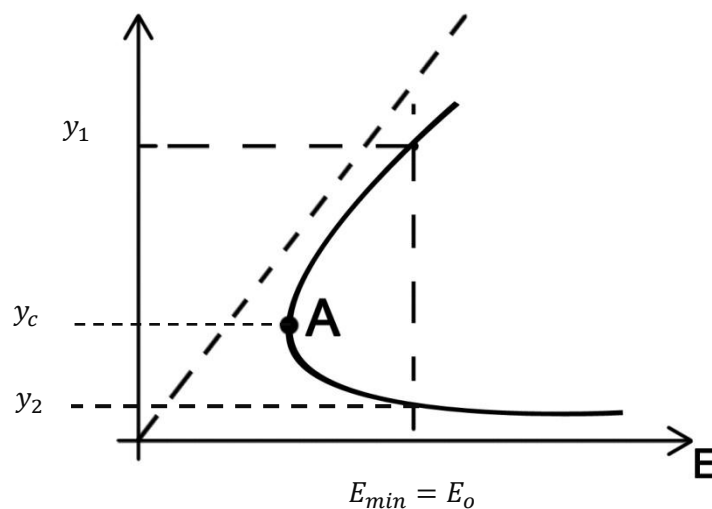
رابطه انرژی مخصوص را برای کانال مستطیلی در نظر می گیریم

این رابطه از $((3))$ پارامتر متغیر $((q$ و y و $E))$ تشکیل شده است چنانچه در این کانال جریانی با شدت ثابت $((q))$ برقرار باشد $((E))$ تابعی از $((y))$ خواهد بود و می توان منحنی مربوط به این تابع را در دستگاه $((E - y))$ ترسیم کرد. با توجه به منحنی $((E - y))$ و معادله انرژی مخصوص می توان به نکات زیر اشاره کرد اگر رابطه انرژی مخصوص را بصورت یک معادله بر

حسب (y) در نظر بگیریم به ازای یک (Eo) مشخص $(E = Eo)$ معادله زیر بدست می آید:

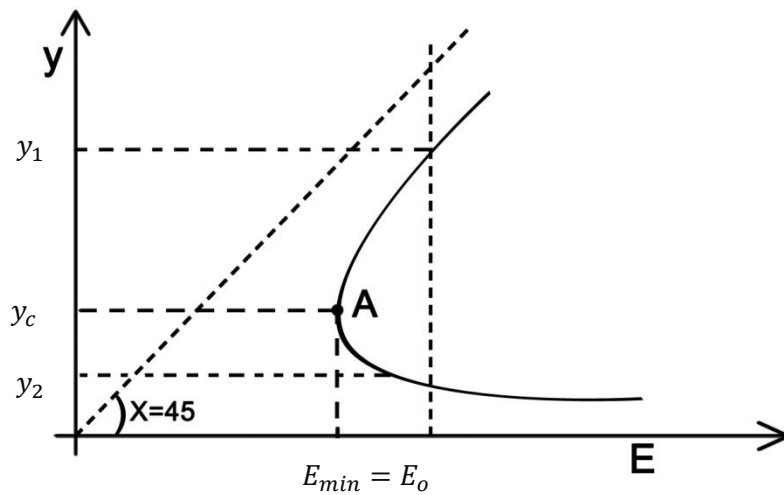
$$Eo = y + \frac{q^2}{2y y_0^2} \xrightarrow{\text{تقسیم بر } y^2} y^3 - Eo y^2 + \frac{q^2}{2g} = 0$$

اگر معادله فوق را حل کنیم 3 ریشه دارد که یکی منفی و دوتای دیگر مثبت و هر دو y مثبت یک انرژی مخصوص دارند.



۲: نقطه A در منحنی شکل روبرو معرف وضعیت بحرانی $(Fr = 1)$ می باشد همان طور که ملاحظه می شود در این نقطه انرژی مخصوص به حداقل مقدار خود رسیده که آن را با (E_{min}) نمایش می دهیم نقطه (A) مرز بین حالت تحت بحران (شاخه تحت بحرانی) و حالت فوق بحرانی (شاخه فوق بحرانی) می باشد به این ترتیب مطابق شکل اگر $(y > y_c)$ باشد (یعنی y_2) وضعیت جریان تحت بحرانی و اگر $(y > y_c)$ (یعنی y_1) باشد وضعیت جریان فوق **به** است.

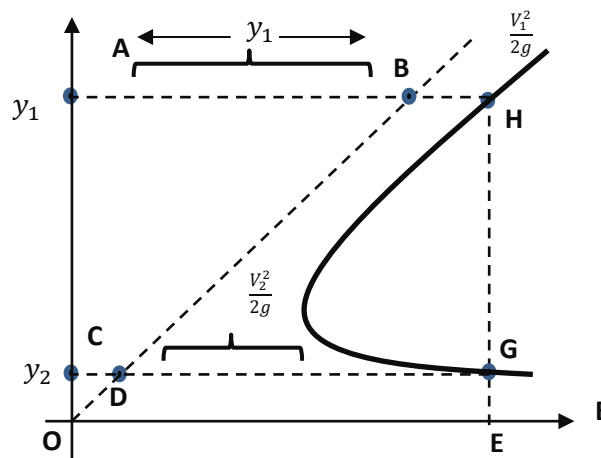
۳- منحنی $(E - y)$ دارای دو مجانب $y = 0$ و $y = E$ می باشد.



مثال:

در منحنی $(E - y)$ شکل زیر قسمت‌هایی: $DG = ?$, $BH = ?$, $CD = ?$, $AB = ?$

معرف چه عباراتی می باشند



$$\theta = 45^\circ$$

$$\text{حل} = OA = AB$$

$$AB = y_1$$

$$\Delta_{OCD} \Rightarrow OC = CD$$

$$CD = y_2$$

$$E = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \Rightarrow E = AB + BH \Rightarrow AB + BH = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$AB = y_1 \Rightarrow y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + BH$$

$$\Rightarrow BH = \frac{V_1^2}{2g}$$

$$E = CD + DG \Rightarrow E = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow CD = y_2 \Rightarrow y_2 + DG =$$

$$y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow DG = \frac{V_2^2}{2g}$$

بررسی جریان در حالت بحرانی:

وضعیت بحرانی حالتی است مرزی که به ازای ($Fr = 1$) ایجاد می شود این حالت مرزی تفاوت دو وضعیت جریان تحت بحرانی و فوق بحرانی را مشخص می کند از آن جا که تشخیص تحت بحرانی و یا فوق بحرانی بودن جریان بسیار مهم است. بررسی خصوصیات جریان بحرانی از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. معادله اساسی حاکم بر جریان بحرانی در حالت بحرانی رابطه خاصی بین پارامترهای جریان و خصوصیات هندسی مقطع --- قرار است که در ادامه این رابطه را بدست خواهیم آورد:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{yD}}$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad \rightarrow Fr = \frac{\frac{Q}{A}}{\sqrt{g \frac{A}{T}}} = \frac{Q}{A \sqrt{g \frac{A}{T}}}$$

$$D = \frac{A}{T} \quad \rightarrow 1 = \frac{Q^2}{A^3 \frac{g}{T}} \rightarrow \frac{1}{T} = \frac{Q^2}{A^3 \cdot g} \rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

$$Fr = 1$$

نکته: در حالت بحرانی عمق جریان را با (y_c) نمایش می دهیم در این وضعیت از جریان داریم

(الف) در حالت بحرانی و به ازای یک دبی ثابت انرژی مخصوص جریان حداقل خواهد بود.

(ب) در حالت بحرانی و به ازای یک انرژی مخصوص ثابت دبی جریان (Max) می شود.

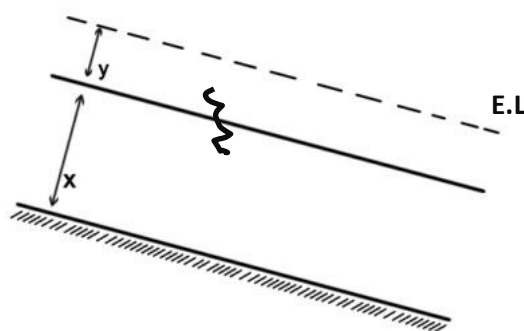
(ج) در حالت بحرانی عدد $(Fr = 1)$ می باشد.

$$\text{در حالت بحرانی} \begin{cases} y = y_c \\ Q \text{ ثابت} \rightarrow E = E \min \\ E \text{ ثابت} \rightarrow Q = Q \max \end{cases}$$

مثال: در یک کانال جریان با دبی Q برقرار است شیب خط انرژی مخصوص و پروفیل سطح آب مطابق شکل تعریف شده است نشان دهید اگر $((y))$ هد سرعت و $((x))$ نصف عرض فوقانی آب باشد برای مقطع دلخواه می توان نوشت

$$((x^2 \cdot y^3 = \frac{Q^2}{32g}))$$

داده های مسئله: $x = \frac{T}{2}$ و هر سرعت $y =$



$$Q = V.A \quad , \quad V = \frac{Q}{A}$$

$$x^2 \cdot y^3 = \frac{Q^2}{32y} \rightarrow \frac{T^2}{4} \cdot \frac{7^6}{8y^3} = \frac{Q^2}{32y} \rightarrow$$

$$x^2 \cdot y^3 = \frac{T^2}{4} \cdot \frac{Q^6/A^6}{8g^3} \rightarrow \frac{T^2}{4} \cdot \frac{Q^6}{8A^6y^3} = \frac{T^2 \cdot Q^6}{32y^3 \cdot A^6}$$

$$\frac{Q^2}{32g} \left(\frac{T^2 \cdot Q^4}{y^2 \cdot A^6} \right) = \frac{Q^2}{32g} \times \left(\frac{T \cdot Q^2}{g \cdot A^3} \right)^2 = \frac{Q^2}{32y}$$

$$Fr = \frac{Q^2 \cdot T}{g \cdot A^3} = 1$$

جریان بحرانی در کانال مستطیلی:

$$\text{کانال مستطیل} \begin{cases} y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \\ E_{\min} = \frac{3}{2} y_c \end{cases}$$

جریان بحرانی در کانال غیر مستطیلی:

$$\text{کانال مثلثی} \begin{cases} y_c = \left(\frac{2Q^2}{gZ^2}\right)^{\frac{1}{5}} \\ E_{\min} = \frac{5}{4} y_c \end{cases}$$

$$\text{کانال های دوزنقه ای و دایره ای} \begin{cases} E_{\min} = y_c + \frac{1}{2} D_c \\ \text{عمق ندارند} \end{cases}$$

$$\text{سایر مقاطع} \left\{ \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \right.$$

مثال: چنانچه در یک جریان مستطیلی جریان با عدد $(Fr = 7)$ در حال عبور باشد نسبت

انرژی مخصوص جریان به عمق جریان را بدست آورید .

$$E = 1 + \frac{1}{2} (Fr)^2 \rightarrow$$

$$E = 1 + \frac{1}{2} (7)^2 = 1/245 \leftarrow \text{Ex ۳۰: برای صفحه}$$

Ex: در یک کانال با مقطع مستطیلی حداقل انرژی جریان $E_{\min}=6m$ است اگر عرض این

کانال $b = 2/5m$ باشد د بی چقدر خواهد بود.

$$E_{min} = \frac{3}{2} y_c \quad , \quad y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$E_{min} = 6m \quad , \quad b = 2/5m \quad \rightarrow 6 = \frac{3}{2} y_c \rightarrow y_c = 4m$$

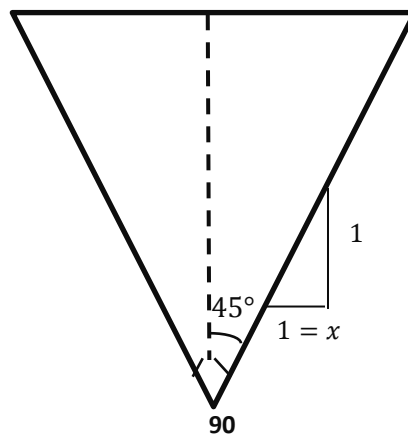
$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow 4 = \left(\frac{q^2}{10} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow 4^3 = \frac{q^2}{10} \rightarrow$$

$$64 = \frac{q^2}{10} \rightarrow q = \sqrt{640} \rightarrow q = 8\sqrt{10} \quad , \quad Q = q.b \rightarrow$$

$$Q = 8\sqrt{10} \cdot 2/5 = 20\sqrt{10}$$

مثال: آب در کانال مثلثی با $Q = 1m^3/s$ با زاویه رأس 90° و ضریب مانینگ 0.13 جاری است

عمق بحرانی چند متر است؟



$$Q = 1 m^3/s$$

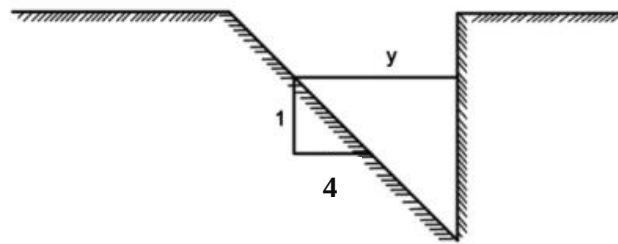
$$E_{min} = \frac{5}{4} y_c$$

$$y_c = \left(\frac{2Q^2}{y} \right)^{1/5}$$

$$\Rightarrow y_c = \frac{2 \times (1)^2}{10 \times (1)^2} \Rightarrow y_c = 0.2$$

$$E_{min} = \frac{5}{4} (/72) = /9m$$

مثال: در کانال زیر که با شیب ۰.۴٪ و در کار خیابان اجرا شده است کانال باید قادر به انتقال دبی طراحی به میزان ((۸۰ L/m)) عمق بهرانی برای این جریان چند متر است همچنین حداقل انرژی مخصوص به ازای این دبی را پیدا کنید.



$$A = Z \cdot y^2$$

$$T = 2y \cdot z$$

$$A_c = \frac{1}{2} A \quad \rightarrow \quad A_c = \frac{1}{2} (4 \cdot y^2) = 2y^2$$

$$T_c = \frac{1}{2} T \rightarrow T_c = \frac{1}{2} (2 \times 4 \times y) = 4y \rightarrow$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{T_c} \rightarrow \frac{(80 \times 10^{-3})^2}{g} = \frac{(2y_c^2)^3}{4y_c} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(80 \times 10^{-3})^2}{10} = \frac{8y_c^6 y_c^5}{4y_c} \rightarrow 64 \times 10^{-5} \times 4 = 80 y^5 \rightarrow$$

$$y_c^5 = \frac{256 \times 10^{-5}}{80} = 32 \times 10^{-5} \rightarrow y_c = \sqrt[5]{0.0032} = /018$$

$$D_c = \frac{A_c}{T_c} \rightarrow D_c = \frac{2y_c^2}{4y_c} = \frac{1}{2} y_c$$

$$E_{\min} = y_c + \frac{1}{2} D_c \rightarrow E_{\min} = y_c + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} y_c \right) =$$

$$E_{\min} = \frac{5}{4} y_c$$

منحنی $((q - y))$

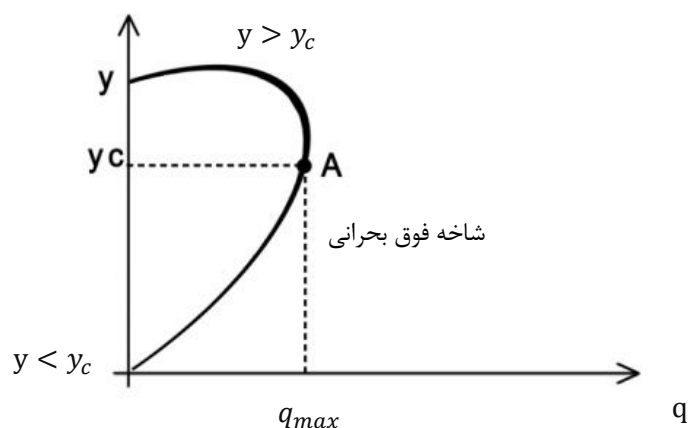
در این جا $((E))$ را ثابت فرض می کنیم و q را رسم می کنیم:

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \rightarrow 2gy^2(E - y) = q^2$$

$$\rightarrow q = (2y y (E - y))^{\frac{1}{2}} \rightarrow q = F(y)$$

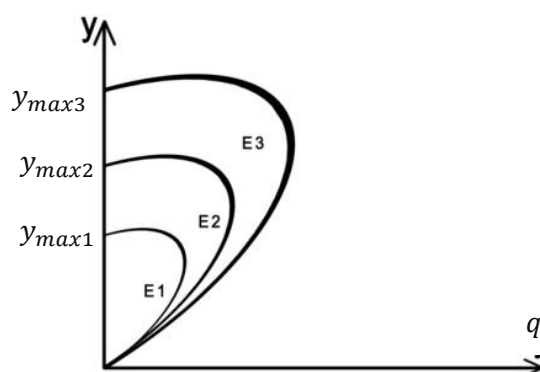
برای منحنی $((E - y))$ ، $((Q))$ ثابت ولی برای منحنی $((q - y))$ ، $((E))$ ثابت می باشد.

۱- همان طور که قبلاً اشاره شد رابطه $((E = y + \frac{q^2}{2gy^2}))$ از سه متغیر $((E, q, y))$ تشکیل شده است حال اگر $((E))$ ثابت فرض شود $((q))$ تابعی از $((y))$ خواهد بود و می توان منحنی مربوط به این تابع را در دستگاه $((q - y))$ به صورت زیر ترسیم کرد. با توجه به منحنی ترسیم شده می توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱- از آنجا که در عمق بحرانی مقدار $((q_{\max}))$ است نقطه $((A))$ از نمودار شکل مقابل معرف جریان با وضعیت بحرانی می باشد.



* اگر $q = 0$ باشد دوتا y بدست می آید که یکی از آنها $y = 0$ و دیگری $y = \max$

۲- با افزایش مقدار انرژی مخصوص $((q \max))$ و $((y \max))$ نیز افزایش می یابد و منحنی $((q - y))$ به صورت زیر ترسیم می شود.



مثال : در یک کانال مستطیلی آب با دبی ثابت q و انرژی ثابت مخصوص $E = 1/5$ اگر منحنی ترسیم شده منحنی تغییرات دبی در واحد عرض در برابر عمق به ازای انرژی مخصوص ثابت باشد، $y \max$ و $q \max$ را محاسبه کنید مطابق شکل.

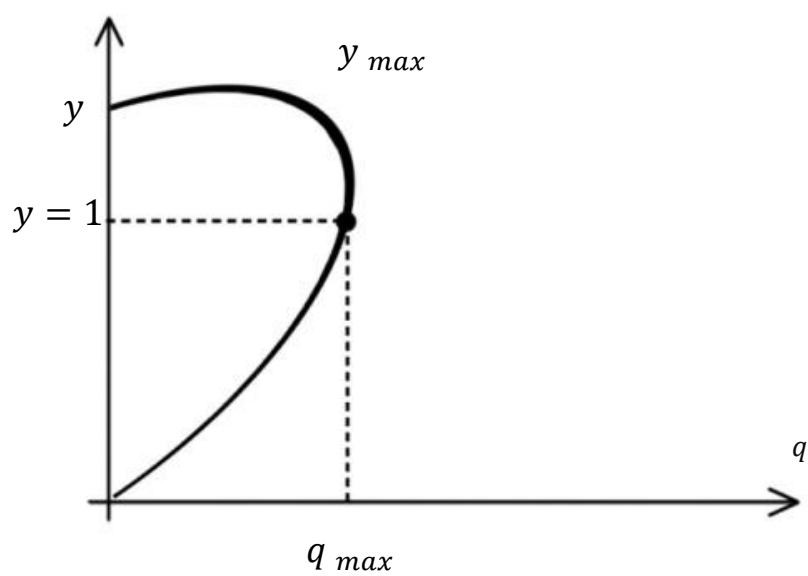
حل: برای $y \max$ باید $q = 0$ باشد پس داریم:

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \rightarrow 1/5 = y + 0 \rightarrow y_{\max} = 1/5m$$

$$E = \frac{3}{2} y_c \rightarrow 1/5 = \frac{3}{2} y_c \rightarrow y_c = 1m$$

$$y_c = \left(\frac{q^2}{y} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow q^2 = 10 \rightarrow q_{max} = \sqrt{10}$$

پس به ازای $((y_c = 1))$ ، $max((q))$ می شود. در این مثال



فصل چهارم

معادله اندازه حرکت در کانال ها

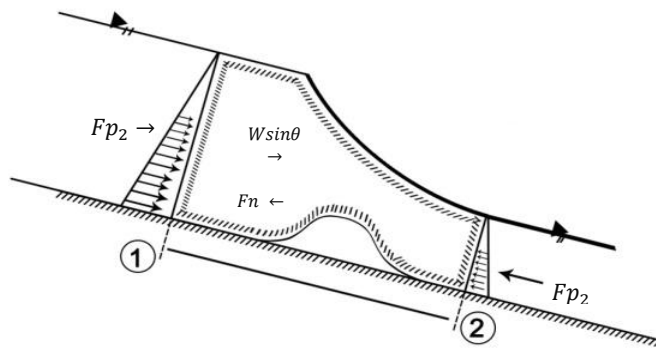
مقدمه:

در این فصل به مفاهیم معادله اندازه حرکت در تحلیل پدیده های موضعی در کانالهای باز اشاره خواهد شد.

گروهی از مسایل مورد بررسی به گونه ای هستند که در آنها با توجه مشخص بودن یا قابل صرفنظر کردن نیروها رابطه اندازه حرکت می تواند در ارتباط دادن سایر پارامترهای هیدرولیکی به کار می رود. از این گروه می توان پرس هیدرولیکی در کانال ها با شیب کم را مثال زد که در این ارتباط مفاهیم و روشهای محاسباتی در مورد کانال ها با هر مقطع دلخواه ارائه خواهد شد. در گروهی دیگر از مسایل معادله اندازه حرکت می تواند در تغییر نیروهای مجهول به کار رود از جمله این مسایل می توان نیروی وارد بر دریچه ها یا سرریزها یا هر گونه مانع موضعی قرار گرفته در مسیر جریان را نام برد. در ضمن ارائه معادله اندازه حرکت مفهوم قراردادی نیروی مخصوص نیز معرفی شده و دو کمیت انرژی مخصوص و نیروی مخصوص با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

اصل اندازه حرکت در کانال های باز:

در این فصل به مفاهیم معادله اندازه حرکت در تحلیل پدیده های موضعی در کانالهای باز اشاره خواهد شد.



$$\Sigma F = \text{نرخ تغییرات اندازه حرکت} = F_{P_1} - F_{P_2} - F_{ext} = PQ BV_2 - B_1 V_1$$

$$F_{p_1} = \gamma \bar{y} A_1$$

$$F_{p_2} = \gamma \bar{y} A_2$$

F_{P_1} و F_{P_2} : نیروی های فشاری در مقاطع ۱ و ۲ می باشند

$\bar{y}$: فاصله مرکز سطح مقطع تا سطح آزاد آب

F_{ext} : برابند نیروی های خارجی وارد بر حجم کنترل می باشد که شامل: (الف): نیروی اصطکاک

جریان آب بر یک کانال (f_f) و هوا (f_{air})

(ب): مؤلفه نیروی وزن به موازات کف کانال ($w \sin \theta$)

(ج): نیروی ناشی از وجود مانع (f_h)

هر وقت جریان آشفته باشد ($\beta = 1$) می باشد که برای جریان آشفته داریم:

$$F_{P_1} - F_{P_2} - F_{ext} = PQ(V_2 - V_1) \quad \beta = 1$$

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

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

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = \left(\frac{Q^2}{y \cdot A_1} + \bar{y}_1 A_1 \right) - \left(\frac{Q^2}{y \cdot A_2} + \bar{y}_2 A_2 \right) \rightarrow \frac{F_{ext}}{\gamma} = F_1 - F_2$$

* در صورتی که مانعی در مسیر جریان وجود نداشته باشد از نیروی دیگری مثل اصطکاک (fF) ،

($w \sin \theta$) ، (F_{air}) صرف نظر می کنیم یعنی در این صورت ($F_{ext} = 0$) می باشد و

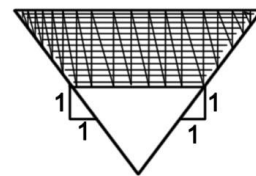
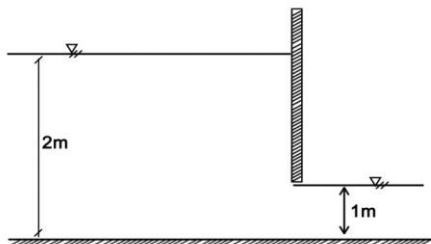
$$((F_{ext} = 0 \rightarrow F_1 = F_2))$$

مثال: مطابق شکل صفحه هاشور خورده به صورت یک مانع در مسیر جریان در یک کانال مثلثی با

شیب جانبی (۱ به ۱) و $Q = 4m^3/S$ دبی قرار گرفته است. اگر عمق جریان قبل از مانع برابر

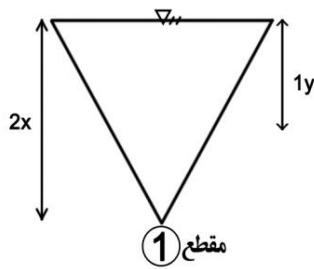
($2m$) و بعد از مانع برابر با ($1m$) باشد مقدار نیروی وارد بر دریچه چند (kn/m) می

باشد.



$$F_{ext} = F_{air} + w \sin \theta + fF + fF + fh \rightarrow \boxed{F_{ext} = fh}$$

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



$$\text{مقطع (۱)} \begin{cases} A_1 = Z \cdot y_1^2 = 1 \times 2^2 = 4 \\ y_1 = \frac{1}{3} y_1 = \frac{2}{3} \text{ m} \end{cases}$$

$$F_1 = \frac{Q^2}{g \cdot A_1} + y_1 A_1 \rightarrow F_1 = \frac{4^2}{10 \times 4} + \frac{2}{3} \times 4 = \frac{92}{30}$$

$$\text{مقطع (۲)} \begin{cases} A_2 = Z \cdot y_2^2 = 1 \times 1^2 = 1 \\ y_2 = \frac{1}{3} y_2 = \frac{1}{3} \text{ m} \end{cases}$$

$$F_2 = \frac{Q^2}{g \cdot A_2} + y_2 \cdot A_2 \rightarrow F_2 = \frac{4^2}{10 \times 1} + \frac{1}{3} \times 1 = \frac{58}{30}$$

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = F_1 - F_2 \rightarrow \frac{Fh}{\gamma} = F_1 - F_2 \rightarrow \frac{Fh}{\gamma} = \frac{92 - 58}{30} =$$

$$\frac{Fh}{\gamma} = \frac{34}{30} = \frac{1}{13} \rightarrow \frac{Fh}{10} = 1/13 \rightarrow f_n = 11/3 \text{ Len/m}$$

* در کانال های مستطیلی معمولاً دبی را در واحد عرضی می گیریم.

نکته: در یک کانال مستطیلی نیروی مخصوص در واحد عرض به صورت زیر بدست می آید:

$$\text{کانال مستطیلی شکل} \begin{cases} F = \frac{Q^2}{g \cdot A} + y \cdot A \\ A = b \cdot y \text{ و } \bar{y} = \frac{y}{2} \rightarrow F = \frac{Q^2}{g \cdot b \cdot y} + \frac{b y^2}{2} \rightarrow \end{cases}$$

$$Q = q \cdot b \text{ دبی در واحد عرض} \rightarrow F = \frac{q^2 \cdot b}{g \cdot y} + \frac{b y^2}{2}$$

$$\frac{F}{b} = \frac{q^2}{g \cdot y} + \frac{y^2}{2} \text{ نیرو در واحد عرض برای}$$

کانال مستطیلی ←

مثال در یک کانال مستطیلی با عرض کف ((10m))

الف) رابطه بین حداقل نیروی مخصوص در واحد عرض کانال با عمق بحرانی را بیابید

ب) رابطه بین نیروی مخصوص و انرژی مخصوص در حالت بحرانی را بدست آورید؟

ج) در صورتی که مقدار نیروی مخصوص حداقل در واحد عرض ((1/5)) باشد دبی max در این

کانال چقدر می باشد؟

الف ← (الف) با توجه به اینکه حداقل نیرو در عمق بحرانی (y_c) رخ می دهد داریم:

$$\frac{F}{b} = \frac{q^2}{g \cdot y} + \frac{y^2}{2} \quad \text{چون در حالت بحرانی} \quad \frac{f_{mn}=f_c}{F=F_{min}=F_c} \quad \frac{f_{mn}=f_c}{b} = \frac{q^2}{g \cdot y_c} + \frac{y_c^2}{2} \rightarrow$$

$$\rightarrow f_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} = 1 \xrightarrow{V=\frac{q}{y}} Fr^2 = \frac{q^2}{g \cdot y_c^3} = 1$$

$$\rightarrow \frac{q^2}{g \cdot y} = y_c^2 \rightarrow \frac{F_{min}}{b} = y_c^2 + \frac{y_c^2}{2} \rightarrow \frac{f_{min}}{b} = \frac{3}{2} y_c^2$$

$$\text{فقط برای کانال مستطیلی} \quad F_{min} = F_c \quad \text{یا} \quad F_c = \frac{3}{2} y_c^2 \quad \text{یا} \quad \frac{F_c}{b} = \frac{3}{2} y_c^2$$

ب ← (ب)

$$\begin{cases} \frac{F_c}{b} = \frac{3}{2} y_c^2 = \frac{3}{2} y_c \cdot y_c \\ E_c = \frac{3}{2} y_c \end{cases} \rightarrow \frac{F_c}{b} = E_c \cdot y_c$$

چون گفته در واحد عرض $b = 1$ گرفتیم.

ج ← (ج)

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow q^2 = g \cdot y_c^3 \rightarrow q = \sqrt{g \cdot y_c^3}$$

$$\frac{F_c}{b} = \frac{3}{2} y_c^2 \rightarrow \frac{1}{5} = \frac{3}{2} y_c^2 \rightarrow y_c = 1m$$

$$q_{max} = \sqrt{10 \times 1^3} = \sqrt{10} \text{ m}^3/s / m = \sqrt{10} \text{ m}^2/s$$

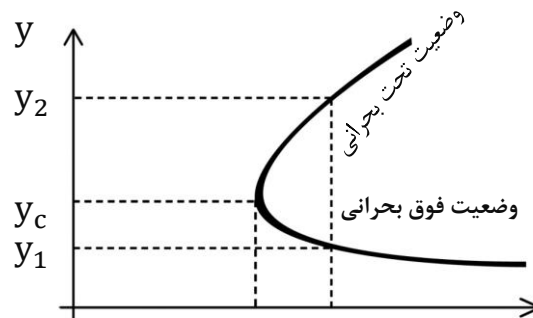
$$Q_{max} = q_{max} \times b = 10\sqrt{10} \text{ m}^3/s$$

$$\frac{F_c}{b} = \frac{3}{2} y_c^2 = E_c \cdot y_c \rightarrow \text{برای کانال های مستطیلی}$$

* منحنی نیروی مخصوص در برابر عمق و اعماق مزدوج

منحنی $((F - y))$ و اعماق مزدوج:

$$\left(\left(\frac{F}{b} = \frac{q^2}{g \cdot y} + \frac{y^2}{2} \right) \right)$$



* با توجه به منحنی $((f - y))$ می توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱- طبق رابطه اندازه حرکت در

$$F_{ext} = 0 \rightarrow F_1 = F_2 = F \text{ صورتی که از نیروی خارجی صرف نظر شود}$$

در این صورت عمق های نظیر f در دو شاخه فوق بحرانی و تحت بحرانی را اعماق مزدوج می

نامند. ۲- نمودار $((f - y))$ شامل دو شاخه فوق ((بحرانی)) و تحت بحرانی می باشد که محل

تلاقی آن ها عمق ((بحرانی) (y_c) می باشد. ۳- در عمق بحرانی نیروی مخصوص کمترین مقدار

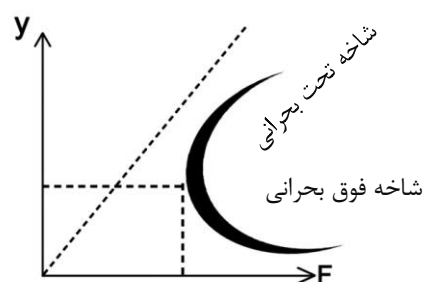
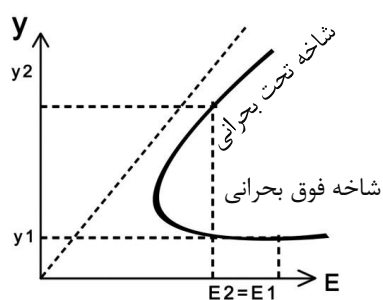
خود را دارد و دبی جریان در این عمق $((\max))$ می باشد.

$$\begin{cases} y > y_c \rightarrow & \text{تحت بحرانی} \\ y < y_c \rightarrow & \text{فوق بحرانی} \end{cases} \quad \text{و} \quad y = y_c \rightarrow \begin{cases} F = F_{min} \\ q = q_{max} \end{cases}$$

* مقایسه بین انرژی مخصوص و نیروی مخصوص:

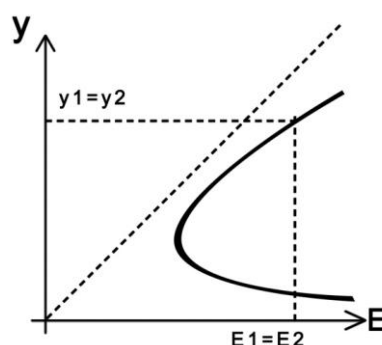
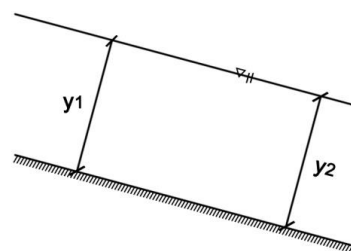
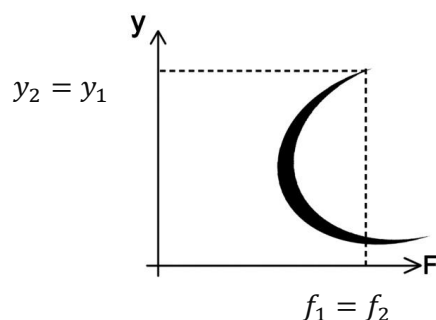
با توجه به مطالب ذکر شده پیرامون انرژی مخصوص و نیروی مخصوص و نیروی مخصوص ملاحظه می شود که شباهت ها و تفاوت هایی بین این دو مفهوم وجود دارد.

نیروی مخصوص	انرژی مخصوص	تقاطع
$F = \frac{Q^2}{g.A} + \bar{y}.A$	$E = y + \frac{V^2}{2y}$	رابطه کلی
$\frac{F}{b} = \frac{q^2}{g.y} + \frac{y^2}{2}$	$E = y + \frac{q^2}{2g.y^2}$	کانال مستطیل در واحد عرض
$\frac{F_{min}}{b} = \frac{3}{2} y_c^2 = E_c y_c$	$E_{min} = \frac{3}{2} y_c$	روابط وضعیت بحرانی در کانال مستطیلی
ثابت باشد F به ازای y بی نهایت اگر اعماق متناظر با آن را اعماق مزدوج گویند.	ثابت باشد E به ازای y بی نهایت اگر اعماق متناظر با آن را اعماق متناوب گویند.	عمق های متناوب و مزدوج



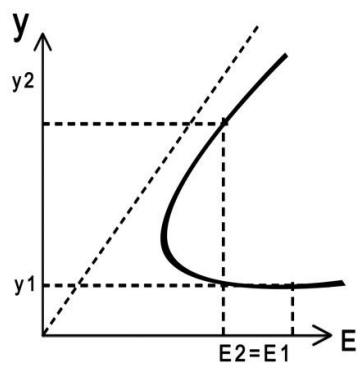
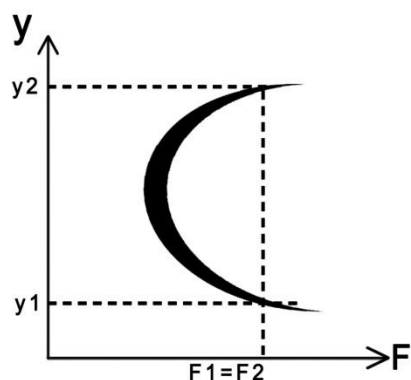
برای هر کانال دیگر با مقطع دیگری این فرمول ها فرق می کنند. در ادامه مقایسه بین دو مفهوم نیروی مخصوص و انرژی مخصوص ((3)) حالت زیر را بررسی می کنیم: ۱- اگر هیچ مانع یا پدیده خاصی در مسیر جریان قرار نداشته باشد و جریان یکنواخت باشد، طبق روایت اصل انرژی و اصل اندازه حرکت داریم:

$$((F_1 = F_2)) \text{ و } ((E_1 = E_2))$$



2- اگر پرش هیدرولیکی در قسمتی از کانال رخ دهد انرژی جریان در اثر پرش کاهش می یابد در این حالت ((ΔE_f)) مقدار انرژی تلف شده در اثر بروز پدیده پرش هیدرولیکی می باشد

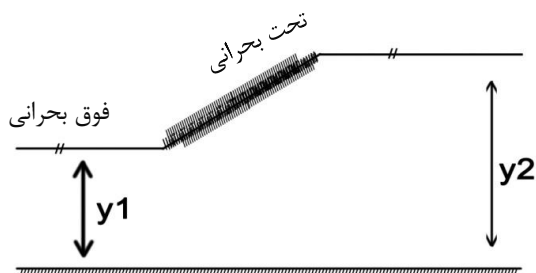
$$((F_1 = F_2)) \text{ و } ((E_1 = F_2 + \Delta E_f))$$



۳- پرش هیدرولیکی : یک جریان غیر یکنواخت که یک جریان فوق بحرانی به تحت بحرانی تبدیل می شود.

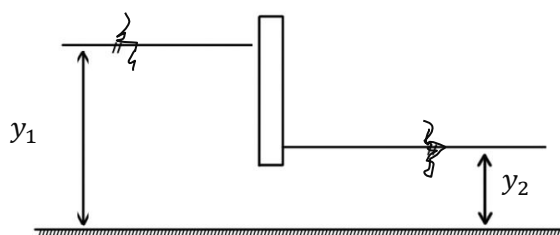
در عبور آب زیر یک دریچه کشویی نیرویی از طرف دریچه به جریان وارد می شود

یعنی $(F_{ext} \neq 0)$



اگر این نیرو را با (Fh) نمایش دهیم رابطه اندازه حرکت به صورت زیر خواهد بود

$$\frac{f_n}{\gamma} = f_1 - f_2 \rightarrow f_2 = f_1 - \frac{f_n}{\gamma}$$



* ملاحظه می شود در صورت وجود اتلاف انرژی $((\Delta E_J))$ رابطه انرژی مخصوص و در صورت وجود نیروی خارجی رابطه اندازه حرکت دچار تغییراتی به شرح زیر می شود:

$$((F_1 = F_2 + \frac{Fn}{y})) \text{ و } ((E_1 = E_2 + \Delta E_J))$$

* انرژی قبل از دریچه وارد می شود ولی نیرو بعد از دریچه وارد می شود.

* **پرش هیدرولیکی:** پرش هیدرولیکی پدیده ای است که طی آن ضمن از دست دادن انرژی از حالت فوق بحرانی به حالت تحت بحرانی تغییر وضعیت می دهد شکل مقابل پرش هیدرولیکی است.

* نکته: پرش هیدرولیکی یک جریان غیر یکنواخت (از نوع متغیر سریع) می باشد در صورتی که دبی جریان ثابت فرض شود می توان این جریان را جریان دائمی از نوع متغیر سریع در نظر گرفت.
 $((y_1))$ عمق اولیه پرش و $((y_2))$ عمق ثانویه پرش (قبل و بعد از پرش)

* در صورتی که $((F_{ext} = 0))$ باشد $((y_1 \text{ و } y_2))$ اعماق مزدوج یکدیگر خواهند بود. همچنین همان طور که بیشتر اشاره شد طی پرش هیدرولیکی انرژی مخصوص کانال به اندازه $((\Delta E_J))$ کاهش می یابد که در یک کانال مستطیلی مقدار $((\Delta E_J))$ را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\Delta E_J = \left(\frac{y_2 - y_1}{\varepsilon y_1 \cdot y_2} \right)^3$$

* برای کانال مستطیلی مقدار انرژی تلف شده از رابطه فوق بدست می آید.

تذکر: در کانال های مستطیلی در صورتی که y_1 و y_2 اعماق مزدوج یکدیگر باشند رابه بسیار مهم زیر بین مقاطع قبل و بعد از پرش برقرار است:

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

مثال: اگر عدد $((Fr))$ جریانی در یک کانال مستطیلی بعد از پرش $((\frac{\sqrt{3}}{5}))$ باشد نسبت عمق های مزدوج چقدر می باشد؟

$$Fr = \frac{\sqrt{3}}{5}$$

$$\rightarrow \frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{3}{25} \right)} - 1 \right) = 2$$

در یک پرش هیدرولیکی در کانال مستطیلی در صورتی که عدد $((Fr))$ اولیه جریان $((\sqrt{3}))$ باشد راندمان پرش (نسبت انرژی مخصوص بعد و قبل از پرش هیدرولیکی) چقدر می باشد؟

$$\frac{E_2}{E_1} = ?$$

$$(1) \rightarrow n = \frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{E_2}{y_2}}{\frac{E_1}{y_1}} \times \frac{y_2}{y_1}$$

$$(2) \quad \frac{E}{y} = 1 + \frac{1}{2} (Fr)^2$$

$$(1) \text{ و } (2) \rightarrow n = \frac{E_2}{E_1} = \frac{y_2}{y_1} \times \frac{1 + \frac{(Fr_2)^2}{2}}{1 + \frac{Fr_1^2}{2}} \rightarrow$$

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

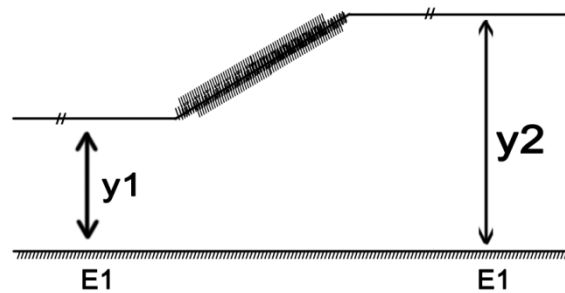
$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 (\sqrt{3})^2} - 1 \right) = 2$$

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

$$\rightarrow \sqrt{1 + 8 Fr_2^2} - 1 = 1 \rightarrow 1 + 8 Fr_2^2 = 4 \rightarrow$$

$$Fr_2^2 = \frac{3}{8} \rightarrow Fr_2 = \sqrt{\frac{3}{8}}$$

$$n = \frac{E_2}{E_1} = \frac{y_2}{y_1} \times \frac{1 + \frac{1}{2} Fr_2^2}{1 + \frac{1}{2} Fr_1^2} = 2 \times \frac{1 + \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{3}{8}} \right)^2}{1 + \frac{1}{2} (\sqrt{3})^2} = \frac{1/1875}{2/5} = /95$$



$$((\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 Fr_1^2} - 1 \right))) \text{ یعنی در مقطع (۱) }$$

$$((\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 Fr_2^2} - 1 \right))) \text{ یعنی در مقطع (۲) }$$

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

فرمول توان تلف شده ناشی از پرش هیدرولیکی : انرژی تلف شده

$$P = \gamma \Delta E Q$$

مثال در یک کانال مستطیلی با شیب کم و به عرض ۱۰m آب با عمق ۱m و عدد $Fr = \sqrt{6}$ جریان دارد. در این مقطع پرش هیدرولیکی ایجاد شده است. (الف) مقدار دبی جریان یافته در کانال چقدر است؟

$$Q = A.V$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.D}} \rightarrow \sqrt{6} = \frac{V}{\sqrt{g.y}} \rightarrow \sqrt{6} = \frac{V}{\sqrt{10 \times 1}} \rightarrow$$

$$D = y$$

$$V = \sqrt{6} \text{ m/s} \quad \text{و} \quad A = b.y = 10 \times 1 = 10 \text{ m}$$

$$Q = A.V \Rightarrow Q = 10 \times \sqrt{6} = 10\sqrt{6}$$

(ب) انرژی تلف شده در اثر پرش هیدرولیکی چقدر است؟

$$\Delta E_j = \frac{(y_2 - y_1)^3}{(4 y_2 \cdot y_1)} \quad y_1 = 1 \text{ m} \quad \text{و} \quad Fr_1 = \sqrt{6}$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 Fr_1^2} - 1 \right) \rightarrow \frac{y_2}{1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 (\sqrt{6})^2} - 1 \right)$$

$$y_2 = 3 \text{ m} \rightarrow \Delta E_j = \frac{(3 - 1)^3}{(4 (3) (1))} = \frac{2}{3} \text{ m}$$

(ج) توان ناشی از پرش هیدرولیکی چند کیلو وات است؟

$$P_j = \gamma \Delta E_j . Q \rightarrow P_j = 10^4 \times \left(\frac{2}{3} \right) \times 10\sqrt{6} = P_j = \frac{5}{17} \times 10^5$$

مثال: در یک کانال مستطیلی پرش هیدرولیکی به عمق اولیه ((1m)) و عمق ثانویه «2m» به

وقوع می انجامد عمق بحرانی جریان را محاسبه کنید. $y_1 = 1m$ و $y_2 = 2m$

$$F_1 = F_2 \rightarrow \frac{q^2}{g \cdot y_1} + \frac{y_1^2}{2} = \frac{q^2}{g \cdot y_2} + \frac{y_2^2}{2} \rightarrow$$

$$\frac{q^2}{y} \left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2} \right) = \frac{y_2^2}{2} - \frac{y_1^2}{2} = \frac{q^2}{y} \left(\frac{y_2 - y_1}{y_2 \cdot y_1} \right)$$

$$\frac{1}{2} (y_2 - y_1) (y_2 + y_1) \rightarrow \frac{q^2}{y} = \frac{y_1 y_2 (y_1 + y_2)}{2}$$

$$\rightarrow y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow y_c^3 = \frac{q^2}{g}$$

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

$$y_c^3 = \frac{1 \times 2 (1 + 2)}{2} \Rightarrow y_c = \sqrt[3]{3} \text{ m}$$

نکته: برای حل مسائل پرش هیدرولیکی در یک کانال غیرمستطیلی باید از رابطه کلی نیروی مخصوص استفاده کرد به عبارتی دیگر می توان گفت:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{F}{b} = \frac{q^2}{g y} + \frac{y^2}{2} \quad \leftarrow \text{کانال غیر مستطیلی} \\ \frac{F}{b} = \frac{q^2}{g \cdot y} + \frac{y^2}{2} \quad \leftarrow \text{کانال مستطیلی} \end{array} \right\}$$

$$F_1 = F_2 \quad \text{کانال غیر مستطیلی}$$

$$F = \frac{Q^2}{g \cdot A} + \bar{y} \cdot A$$

مثال: در یک کانال مثلثی با زاویه رأس 90° در صورتی که عمق های اولیه و ثانویه یک پرش هیدرولیکی به ترتیب ۱ و ۲ متر باشند عدد Fr اولیه جریان را پیدا کنید؟

$$F_1^2 = \frac{Q^2 \cdot T}{A_1^3 \cdot y} \quad , \quad F_1 = F_2 \rightarrow$$

$$\frac{Q^2}{y \cdot A_1} + y_1 \cdot A_1 = \frac{Q^2}{g \cdot A_2} + y_2 \cdot A_2 \rightarrow$$

$$A_1 = Z \cdot y_1^2 = 1 \times 1^2 = 1 \quad , \quad y_1 = \frac{1}{3} \quad y_1 = \frac{1}{3} m$$

$$A_2 = Z \cdot y_2^2 = 1 \times 1^2 = 4 \quad , \quad y_2 = \frac{1}{3} \quad y_2 = \frac{2}{3} m$$

$$\frac{Q^2}{10 \times 1} + \frac{1}{3} \times 1 = \frac{Q^2}{10 \times 4} + \frac{2}{3} \times 4 \rightarrow Q = \frac{\sqrt[3]{70}}{3} m^3/s$$

$$T_1 = 2y_1 \cdot Z \rightarrow T_1 = 2m \quad , \quad A_1 = 1m^2$$

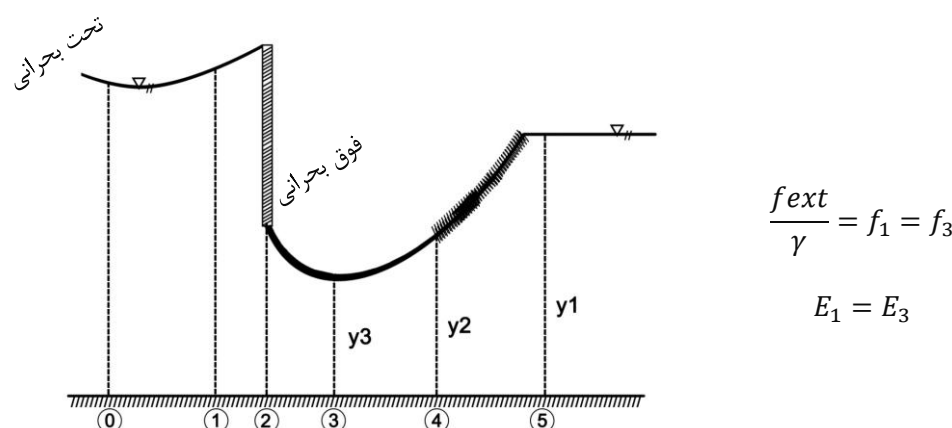
$$F_{r1}^2 = \frac{Q^2 \cdot T_1}{A_1^3 \cdot y} \rightarrow$$

$$F_{r1}^2 = \frac{(2 \cdot \sqrt[3]{70})^2 \times 2}{1^3 \times 10} \rightarrow F_{r1} = \frac{2\sqrt{14}}{3}$$

بررسی عبور جریان آب از زیر یک دریچه:

شکل زیر وضعیت جریان آب هنگام عبور از زیر دریچه ای که در کانال با شیب ملایم نسبت شده است را نمایش می دهد. جهت بررسی وضعیت جریان در نقاط مختلف قبل و بعد از دریچه مقاطع ((۰)) تا ((۵)) را در نظر می گیریم حال می توانیم مطالب زیر را مطرح نماییم: ۱- در سطح مشاهده می شود که قبل از دریچه ((۵)) تا ((۱)) سطح بالا می آید که یک جریان متغیر تدریجی می باشد بعد از دریچه ابتدا از مقطع ((۲)) تا ((۳)) سطح آب پایین می رود که یک جریان متغیر

سریع است از مقطع ((۳)) تا ((۴)) عمق آب به صورت تدریجی افزایش می یابد بین مقاطع ((۴)) و ((۵)) پرش هیدرولیکی در پایین دست تشکیل می شود که عمق اولیه آن ((y_4)) و عمق ثانویه آن ((y_5)) می باشد. ۲- جریان قبل از دریاچه زیر بحرانی داشته و با عبور از زیر دریاچه به حالت فوق بحرانی تبدیل می شود. پس با انجام یک پرش هیدرولیکی مجدداً به وضعیت زیر بحرانی بر میگردد. ۳- عمق های y_1 و y_3 عمق های متناوب. ((۴)) با استفاده از رابطه اندازه حرکت بین دو مقطع ۱ و ۳ نیروی وارد بر دریاچه بدست می آید.



زیر دریاچه یعنی مقطع (۲) نمی توانیم جریان در نظر بگیریم.

تذکر: y_3 کمترین عمق ممکن برای جریان بعد از دریاچه بوده و پس از آن عمق آب افزایش می یابد به عمق جریان در این مقطع عمق فشردگی می گویند اگر ضریب ((C_c)) را ضریب فشردگی و ((y_2)) عمق بازشدگی دریاچه در نظر بگیریم ((y_3)) از رابطه زیر بدست می آید.

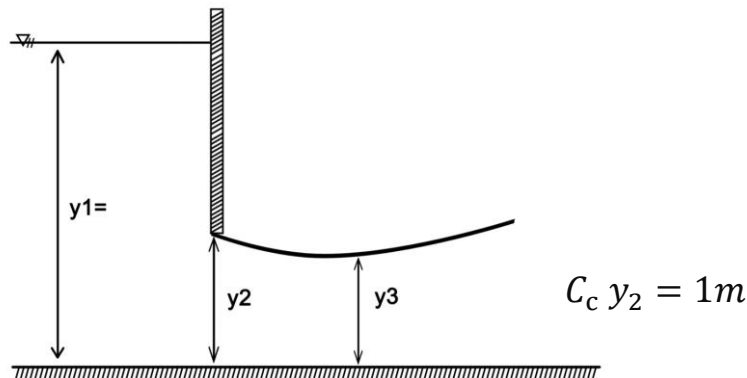
$$((y_3 = C_c y_2))$$

$EX: y_2 : C_c$ به ترتیب برابر (($1/25$)) و ((۸)) می باشند در صورتی که کانال مستطیلی باشد.

مطلوب است (الف) اگر $y_1 = 3m$ باشد دبی در واحد عرض چقدر است.

(ب) اگر دبی در واحد عرض (($q = 4 m^3/s/m$)) عمق ((y_1)) چقدر است

(ج) در قسمت (الف) نیروی وارد بر هر سه دریچه را پیدا کنید.



$$y_3 = C_c y_2 \rightarrow y_3 = 1/8 \times 1/25 = 1m \quad (\text{الف})$$

$$E_1 = E_3 \rightarrow y_1 + \frac{q^2}{2g \cdot y_1^2} = y_3 + \frac{q^2}{2g \cdot y_3^2} \rightarrow 3 + \frac{q^2}{20 \times 3^2} = 1 + \frac{q^2}{20 \times 1^2}$$

$$\frac{8q^2}{180} = 2 \rightarrow q = 3\sqrt{5} m^3/s / m$$

$$E_1 = E_3 \rightarrow y_1 + \frac{q^2}{2g \cdot y_1^2} = y_3 + \frac{q^2}{2g \cdot y_3^2} \rightarrow \quad (\text{ب})$$

$$y_1 + \frac{4^2}{20 \times y_1^2} = 1 + \frac{4^2}{20 \times 1^2} \rightarrow$$

$$y_1^3 - \frac{1}{8} y_1^2 + 1/8 = 0$$

معادله دارای ۳ ریشه دو مثبت و یک منفی که دوتای مثبت عمق های متناوب اند.

$$(y - 1) (y^2 - 1/8y - 1/8) = 0$$

$$ax^2 + bx + c = 0 \rightarrow x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$y_3 = 1$$

$$y_1 = \frac{1}{4} + \sqrt{\frac{1}{4^2} + \frac{1}{8}} \cong 1/4m$$

$$\frac{Fh}{\gamma} = F_1 - F_2 \rightarrow 6 - 5 = 1 \rightarrow \frac{Fh}{\gamma} = 1$$

$$\rightarrow \quad \quad \quad (ج)$$

$$Fh = \gamma \rightarrow Fh = 10 \quad Kn$$

$$\frac{F_1}{b_1 = 1} = \frac{q^2}{g \cdot y_1} + \frac{y_1^2}{2} = \frac{(3\sqrt{5})^2}{10 \times 3} + \frac{3^2}{2} = 6m$$

$$\frac{F_2}{b_2 = 1} = \frac{q^2}{g \cdot y_1} + \frac{y_2^2}{2} = \frac{(3\sqrt{5})^2}{10 \times 3} + \frac{1}{2} = 5m$$

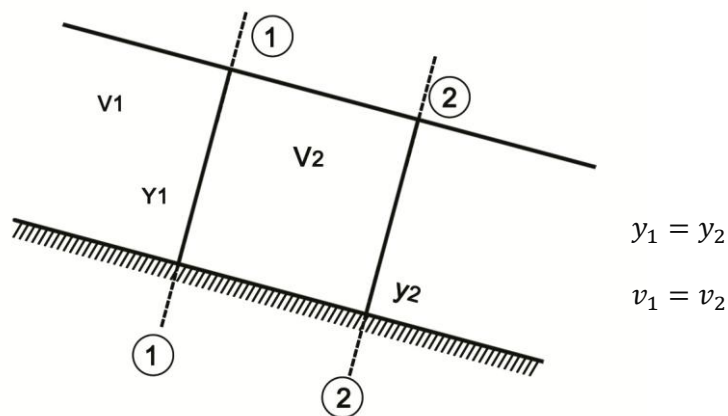
چون کانال مستطیلی است و در واحد عرض می باشد $b_1 = b_2 = 1$ در نظر گرفتیم.

فصل پنجم:

جریان های یکنواخت در کانال های باز

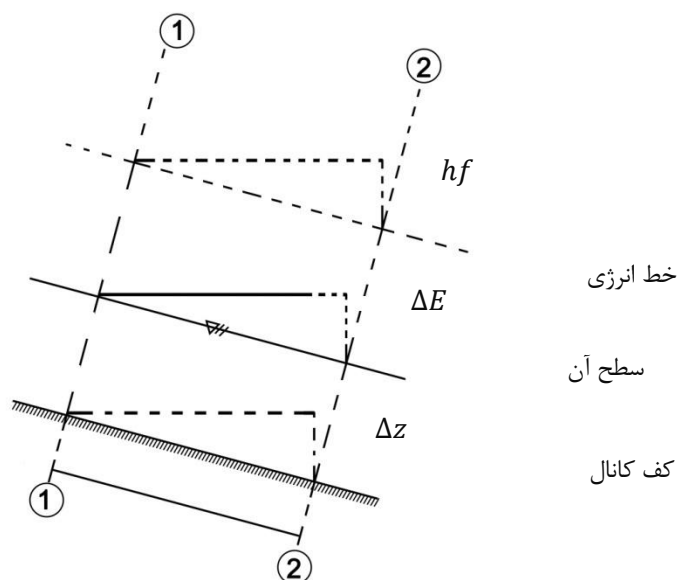
تعاریف و خصوصیات جریان یکنواخت:

همان طور که قبلاً اشاره شد جریان یکنواخت جریانی است که در آن عمق آب ثابت است. به عبارتی دیگر در این نوع جریان هیچ گونه آشفتگی در سطح آب دیده نمی شود. مهمترین ویژگی ها و شرایط ایجاد جریان یکنواخت را می توان در قالب 3 مورد زیر مطرح نمود: ۱- در جریان یکنواخت عمق آب از یک مقطع به مقطع دیگر تغییر نکرده و ثابت می ماند. از آن جا که در این حالت مقطع کانال نیز ثابت است می تواند نتیجه گرفت که سرعت آب در کانال ثابت است. بنابراین اگر در کانال شکل زیر جریان یکنواخت برقرار باشد در دو مقطع ۱ و ۲ می توان نوشت:



۲- فرض کنید فاصله بین دو مقطع (۱) و (۲) در شکل بالا برابر (L) باشد همچنین میزان پایین آمدن تراز کف کانال از مقطع یک تا مقطع دو را ΔZ و میزان پایین آمدن سطح آب را

(Δw) و مقدار پایین آمدن خط انرژی را h_F می نامیم لذا از دیگر خصوصیات جریان یکنواخت این است که این سه مقدار با هم برابر باشند.



$$h_F = \Delta w = \Delta z \Rightarrow \frac{h_F}{L} = \frac{\Delta w}{L} = \frac{\Delta z}{L}$$

$$S_F = S_w = S_o = S$$

چون θ خیلی کم است $\sin \theta$ با $\tan \theta$ و θ باهم برابرند.

$$\sin \theta = \frac{\Delta E}{L} = \theta = \tan \theta$$

برای مقادیر کوچک $\theta \leftarrow S = \sin \theta = \tan \theta$

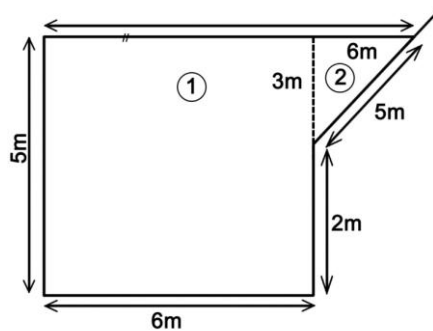
۳- برای برقراری جریان یکنواخت علاوه بر موارد ذکر شده شرایط دیگری نیز وجود دارد که عبارتند از (الف): طولانی بودن کانال (ب): منشوری بودن کانال یعنی سطح مقطع کانال ثابت باشد. (ج): عدم وجود مانع در مسیر جریان (د) کانال افقی و یا با شیب معکوس نباشد زیرا در این نوع کانال جریان یکنواخت تشکیل نخواهد شد.

* محاسبه سرعت متوسط جریان یکنواخت: ۱- رابطه شری:

$$\text{شیب کانال} \rightarrow V = C \cdot \sqrt{R \cdot S} \leftarrow \text{سرعت متوسط جریان}$$

مثال: در صورتی که دبی عبوری از کانال زیر $9 \text{ m}^3/\text{s}$ باشد. پایین افتادگی در هر $((1\text{cm}))$ از طول کانال چقدر است؟ ضریب شزی را $((5))$ بگیرید.

اول: شکل را به دو مقطع مجزا تبدیل کرده که شامل یک مثلث و یک مستطیل می شود.



$$Q = V \cdot A = C \cdot \sqrt{R \cdot S} \cdot A$$

$$A = A_1 + A_2 = 6 \times 5 + \frac{3 \times 4}{2} = 36 \text{ m}^2$$

$$P = 6 \times 5 + 2 + 5 = 18 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{36}{18} = 2 \text{ m}$$

$$Q = V \cdot A \rightarrow Q = A \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot S} \rightarrow$$

$$9 = 36 \times 5 \times \sqrt{2 \cdot S} \rightarrow S = 0.00125$$

$$S = \frac{\Delta W}{L} \rightarrow S = \frac{\Delta W}{1000} \rightarrow 0.00125 = \frac{\Delta W}{1000} \rightarrow \Delta W = 1.25 \text{ m}$$

مثال: دریک کانال مستطیلی بسیار عریض ضریب شزی برابر ((50)) می باشد. شیب کانال چقدر باشد. تا جریان آب در کانال وضعیت بحرانی پیدا کند.

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot S}$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} \cdot \frac{\text{در کانال مستطیلی}}{D = y} \cdot 1 = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} \rightarrow V = \sqrt{g \cdot y}$$

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot S} \rightarrow \sqrt{g \cdot y} = C \cdot \sqrt{R \cdot S} \quad \begin{array}{l} \text{چون کانال مستطیلی عریض} \\ R \cdot S \text{ است پس} \end{array}$$

$$\sqrt{g \cdot y} = C \cdot \sqrt{y \cdot S} \quad \begin{array}{l} \text{طرفین به توان} \\ ((2)) \end{array} \quad g \cdot y = C^2 \cdot y \cdot S \rightarrow$$

$$S = \frac{g}{C^2} \Rightarrow S \frac{10}{(50)^2} = /004$$

بنابراین در کانال مستطیلی عریض رابطه شزی و شیب بحرانی بصورت زیر می باشند:

$$V = C \cdot \sqrt{y \cdot S} \quad \text{و} \quad S_C = \frac{y}{C^2} \quad \text{در وضعیت بحرانی}$$

رابطه ما نینگ جهت تعیین سرعت:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

نکته: ضریب ما نینگ یا ضریب زبری جداره تابع جنس کانال، هندسه مقطع، نوع و میزان پوشش گیاهی در کف کانال، شکل مسیر و وجود مانع در مسیر جریان است.

$$(I) \quad (V = C \cdot \sqrt{R \cdot S} = C \cdot R^{\frac{1}{2}} \cdot S^{\frac{1}{2}})$$

$$(I) \text{ و } (II) \rightarrow C \cdot R^{1/2} \cdot S^{1/2} = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot S^{1/2} \rightarrow c = 1/n R^{1/6}$$

$$(II) \left(V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\left(C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \right)$$

نکته: همان طور که بیشتر اشاره شد کانال مستطیلی عریض از اهمیت فراوانی برخوردار است.

در کانال های مستطیلی عریض رابطه مانینگ به صورت زیر می باشد:

$$\left. \begin{aligned} Q &= V = A \rightarrow Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \\ Q &= \frac{1}{n} \cdot b \cdot y \cdot y^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \\ \rightarrow A &= b \cdot y \text{ و } R \cong y \end{aligned} \right\}$$

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{1}{n} \cdot y^{\frac{5}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad \leftarrow \text{در واحد عرض}$$

مثال: آب در یک کانال مستطیلی عریض جاری بوده و عمق جریان $0.27m$ می باشد شیب این

کانال چقدر باشد تا $((y_0 = y_c))$ شده و جریان در وضعیت بحرانی قرار گیرد.

ضریب مارننگ هم $((0.3))$ در نظر بگیرید.

$$q = \frac{1}{n} \cdot y^{\frac{5}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \xrightarrow{\text{به توان 2}} q^2 = \frac{1}{n^2} \cdot y^{\frac{10}{3}} \cdot S$$

$$q^2 = \frac{1}{n^2} \cdot y_c^{\frac{10}{3}} \cdot S_c \quad (I) \text{ در حالت بحرانی}$$

$$y = y_c \text{ و } S = S_c \text{ و } y_c = \left(\frac{q^2}{y} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow q^2 = y \cdot y_c^3 \quad (T)$$

$$(T)_9 (T) \rightarrow \frac{1}{n^2} \cdot y_c^{\frac{10}{3}} \cdot S_c = y \cdot y_c^3 \rightarrow$$

$$S_c = n^2 \cdot y \cdot y_c^{-\frac{1}{3}} \rightarrow S_c = (/03)^2 \times 10 \times (/027)^{-\frac{1}{3}} = /03$$

↓

شیب بحرانی در کانال مستطیلی عریض

مثال: جریان در یک کانال مستطیلی عریض با دبی $\sqrt{10} \text{ m}^3/\text{s}$ در واحد عرض در حالت بحرانی جاری می باشد اگر ضریب مانینگ 0.15 باشد شیب کف یا بستر

این کانال چقدر می باشد؟ $g = 10$

$$S_c = n^2 \cdot g \cdot y_c^{-\frac{1}{3}} \rightarrow y_c = \left(\frac{q^2}{y} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow y_c = \left(\frac{(\sqrt{10})^2}{10} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$y_c = 1\text{m} \rightarrow S_c = /015^2 \times 10 \times 1^{-\frac{1}{3}} = /00225$$

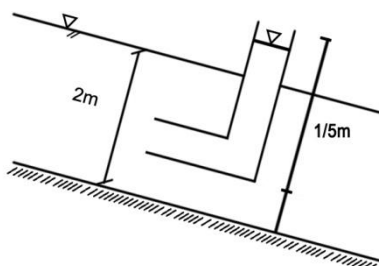
مثال: انرژی ویژه (مخصوص) در ابتدای یک کانال مستطیلی عریض هنگامی که حداکثر مقدار دبی از مخزن سدی وارد آن می شود برابر 12m است اگر این کانال با شیب بحرانی امتداد یابد شیب آن چقدر است و ضریب مانینگ 0.2 بگیرید. ($n = /02$)

$$S_c = n^2 \cdot y \cdot y_c^{-\frac{1}{3}}$$

$$EC = \frac{3}{2} y_c \rightarrow /2 = \frac{3}{2} y_c \rightarrow y_c = 8\text{m}$$

$$S_c = (/02)^2 \cdot (10) \cdot (8)^{-\frac{1}{3}} = /002$$

مثال: در کانال مستطیلی زیر با عرض کف $4m$ لوله پیتوتی مطابق شکل در مسیر جریان فرار دادیم (الف) در صورتی که ضریب مانینگ در این کانال 0.03 باشد شیب کف این کانال را بدست آورید (ب) اگر شیب کف کانال 0.064 باشد ضریب مانینگ در این حالت چقدر است؟



$$E = 1/5 + 2/7 = 2/2 \rightarrow 2/2 = 2 + \frac{V^2}{2 \times 10} \rightarrow$$

$$V = 2m/s \rightarrow Q = A \cdot V = (2 \times 4) \times 2 = 16m^3/s$$

$$A = 2 \times 4 = 8m^2 \text{ و } P = 2 + 4 + 2 = 8m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{8}{8} = 1m$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \rightarrow S^{\frac{1}{2}} = \frac{n \cdot Q}{A \cdot R^{\frac{2}{3}}} \rightarrow$$

$$S^{\frac{1}{2}} = \frac{0.03 \times 16}{8 \times 1^{\frac{2}{3}}} = 0.06 \rightarrow S^{\frac{1}{2}} = 0.06 \quad \begin{array}{l} \text{به توان 2} \\ \text{می رسانیم} \end{array}$$

$$S = 0.0036$$

(ب)

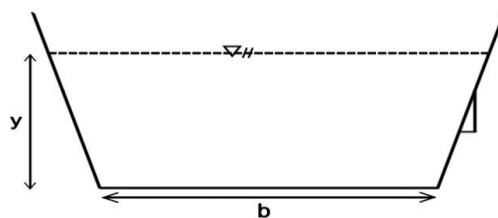
$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \rightarrow 16 = \frac{1}{n} \cdot 8 \cdot 1^{\frac{2}{3}} \cdot 0.064^{\frac{1}{2}}$$

$$16n = 8 \times 1 \times 0.064^{\frac{1}{2}} \rightarrow$$

$$n = \frac{8 \times \frac{1}{0064^{\frac{1}{2}}}}{16} = \frac{64}{16} = 04$$

طراحی مقطع بهینه هیدرولیکی: یکی از اهداف مهم پروژه های هیدرولیکی ارائه اقتصادی ترین طرح ممکن برای اجرای کانال ها می باشد. در کانال های هیدرولیکی طراحی بهینه زمانی صورت می پذیرد که ضمن عبور دادن بیش ترین دبی عبور از کانال هزینه اجرایی طرح حداقل شود. یکی از مهم ترین هزینه های ساختن کانال ها اجرای پوشش دیواره ها و کف کانال است که رابطه مستقیم با محیط تر یا خیس شده آن دارد بنابراین برای بهینه شدن مقطع کانال باید پیرامون مرطوب مقطع (P) را حداقل کنیم در این صورت مقادیر خاصی برای پارامترهای هندسی کانال با مقاطع مختلف بدست می آید.

مثال: در کانال ذوزنقه ای شکل زیر در صورتی که عمق جریان y باشد A, b و R را جهت طراحی بهینه کانال بدست آورید.



$$A = (b + Z \cdot y)y \quad \rightarrow$$

$$b = \frac{A}{y} - Z \quad (I)$$

$$(II) \quad P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$(I) \text{ و } (II) \rightarrow P = \frac{A}{y} - Zy + 2y\sqrt{1 + Z^2} \rightarrow \frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{-A}{y^2} - Z + 2\sqrt{1+Z^2}$$

$$\frac{\partial p}{\partial E} = 0 - y + \frac{2Z \cdot y}{\sqrt{1+Z^2}} = 0 \rightarrow$$

$$\frac{2Z \cdot y}{\sqrt{1+Z^2}} - y = 0 \rightarrow Z = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$A = \left(2\sqrt{1+Z^2} - Z \right) y^2 \xrightarrow{Z=\frac{\sqrt{3}}{3}} A_{opt} = \sqrt{3} y^2$$

$$P = \frac{A}{y} - Zy + 2y\sqrt{1+Z^2} \xrightarrow{Z=\frac{\sqrt{3}}{3}} P_{opt} = 2\sqrt{3} y$$

پیرا مرطوب بهینه

$$\text{شعاع هیدرولیکی بهینه} \longrightarrow R_{opt} = \frac{A_{opt}}{P_{opt}} = \frac{\sqrt{3} \cdot y^2}{2\sqrt{3} \cdot y} = \frac{y}{2}$$

$$b_{opt} = \frac{A}{y} - Zy = \frac{\sqrt{3} \cdot y^2}{y} - \sqrt{\frac{3}{3}} \cdot y = \frac{\sqrt{3}}{3} y$$

* برای اینکه A و b و R را بدست آوریم باید پیرامون مرطوب (P) مقطع را $\min$ بگیریم.

نکته: مشخصات هندسی مقطع بهینه هیدرولیکی برای برخی از مقاطع منظم پر کاربرد.

شرح جدول زیر می باشد:

مثال: در صورتی که کانال های مثلثی و مستطیل مقابل به صورت بهینه طراحی شده باشند و شیب

کف کانال و ضریب مانینگ برای هر دو مقطع مساوی باشند؟ نسبت؟ $\frac{Q_1}{Q_2}$ ؟

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{2d^2}{4d} = \frac{d}{2} \quad R_2 = \frac{A_2}{P_2} = \frac{d^2}{2\sqrt{2}d} = \frac{\sqrt{2}}{4} d$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \rightarrow \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{2d^2}{d^2} \times \left(\frac{\frac{d}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{4}d} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = 2\sqrt[3]{2}$$

مثال: قرار است یک کانال مستطیلی با شیب طولی 9:40000 $\left(\frac{9}{40000}\right)$ جریان آب را با سرعت

یک متر بر ثانیه انتقال دهد اگر بخواهیم با پوشش بتنی کانال را بپوشانیم و هزینه هر متر مربع

پوششی بتنی ((X)) باشد حداقل هزینه پوشش برای هر متر از طول کانال چقدر است؟ ضریب

مانینگ 015/ بگیرد.

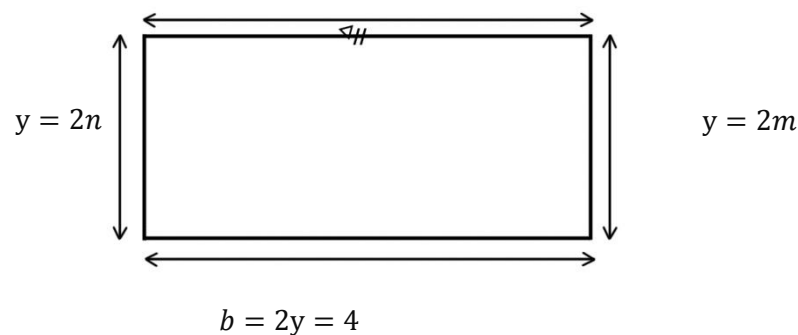
$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$n = 015/ \quad \text{و} \quad R_{opt} = \frac{y}{2} \rightarrow 1 = \frac{1}{015/} \times \left(\frac{y}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{9}{40000} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rightarrow y = 2m \rightarrow \quad 1m^2 = x \quad \text{به ازای}$$

$$A = PL = (b + 2y) \times L = (4 + 2 + 2) \times L = 8m$$

حداقل هزینه هر متر از طول کانال برابر ((8m)) می باشد.

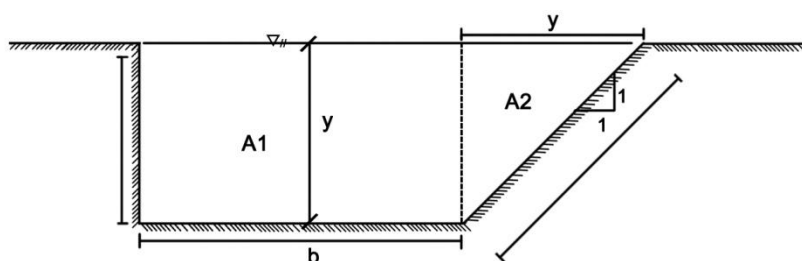


تذکر: برای بهینه کردن مقاطع ترکیبی نمی توان از اطلاعات جدول مقاطع بهینه استفاده کرد
بنابراین برای بهینه کردن این نوع مقاطع باید از روش اصلی یعنی همان ((min)) کردن پیرامون
مطوب استفاده نمود.

مثال: یک طراح در نظر دارد که مقطع نشان داده شده در شکل را با توجه به اصول بهترین مقطع
هیدرولیکی طرح نمایید. براساس نتیجه محاسبه این طراح محاسبه ارتباط بین مساحت مقطع
جریان

(($\bar{A}$)) و عمق جریان ((y)) را با چه رابطه ای می توان مشخص کرد.

حل: ← (۱) $\bar{A}$ و P مقطع را بدست می آوریم:



$$\bar{A} = A_1 + A_2 = by + \frac{y^2}{2}$$

$$P = y + b + y\sqrt{2} = b + 2y\sqrt{2}$$

(3) پارامتر b را بین رابطه p و A حذف می کنیم:

$$A = by + \frac{y^2}{2} \rightarrow b = \frac{A}{y} - \frac{y}{2} \rightarrow P = y + b + y\sqrt{2}$$

$$P = y + \frac{A}{y} - \frac{y}{2} + y\sqrt{2} = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right)y + \frac{A}{y} \rightarrow \frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

$$\left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) + \frac{A}{y^2} = 0 \rightarrow \frac{A}{y^2} = \frac{1}{2} + \sqrt{2} \rightarrow A = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right)y^2$$

تنش های پرشی بر روی جداره کانال: هرگاه جریان یکنواختی در یک کانال در حرکت باشد در اثر وزن آب، تماس مایع با جداره ها (دیواره ها) و کف کانال تنش پرش (T) روی جداره ها و کف کانال ایجاد شده که با استفاده از معادله اصل اندازه حرکت از رابطه زیر محاسبه می شود.

از رابطه زیر محاسبه می شود.

مثال: در یک کانال مستطیلی عریض به عمق جریان دو متر و شیب کف $4/000$ تنش پرش (T) متر متوسط حاصل از جریان آب روی بدنه کانال را محاسبه نمایید.

چون کانال مستطیل و عریض است پس $R = y$

ملاحظه می شود در صورت وجود اتلاف انرژی $((\Delta E_j))$ رابطه انرژی مخصوص و در صورت وجود نیروی خارجی رابطه اندازه حرکت دچار تغییراتی به شرح زیر می شود:

$$\left(E_1 = E_2 + \Delta E_j\right) \text{ و } \left(E_1 = E_2 - \frac{Fh}{\gamma}\right)$$

* انرژی قبل از دریچه وارد می شود ولی نیرو بعد از دریچه وارد می شود .

* پرش هیدرولیکی : پرش هیدرولیکی پدیده ای است که طی آن آب ضمن از دست دادن انرژی از حالت فوق بحرانی به حالت تحت بحرانی تغییر وضعیت می دهد شکل مقابل پرش هیدرولیکی است.

نکته : پرش هیدرولیکی یک جریان غیر یکنواخت (از نوع متغیر سریع) می باشد در صورتی که دبی جریان ثابت فرض شود می توان این جریان را جریان دائمی از نوع متغیر سریع در نظر گرفت.

$((y_1))$ عمق اولیه پرش و $((y_2))$ عمق ثانویه پرش (قبل وبعد از پرش)

منابع درسی:

- (۱) کتاب هیدرولیک کانال های باز - دکتر جلیل ابریشمی و دکتر محمود حسینی - دانشگاه فردوسی مشهد
- (۲) کتاب هیدرولیک کانالهای باز - دکتر حسن مدنی - دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران
- (۳) کتاب هیدرولیک کاربردی - دکتر محمد نجمایی - دانشگاه علم و صنعت تهران
- (۴) کتاب هیدرولیک کانال های باز - دکتر غلامعباس بارانی - دانشگاه شهید باهنر کرمان
- (۵) کتاب علم هیدرولیک - آندروول.سمون - ترجمه حمید کاشانیان
- (۶) کتاب هیدرولیک مهندسی عمران - فدرستون.ل نالوری - ترجمه علیرضا انتظاری
- (۷) جزوه هیدرولیک - دکتر نائینی - دانشگاه تهران
- (۸) جزوه هیدرولیک - دکتر فرخ - دانشگاه صنعتی شریف
- (۹) کتاب هیدرولیک عمران - مهران بکائی و امیر مسعود سامان
- (۱۰) کتاب هیدرولیک کانالها- حضرت الله معضودی و صالح کوچک زاده - دانشگاه تهران
- (۱۱) کتاب مکانیک سیالات و هیدرولیک - دکتر حسن مدتی - دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- (۱۲) کتاب اصول جریان در مجاری بار- دکتر محمد محمودیان شوشتری - دانشگاه چمران اهواز
- (۱۳) کتاب هیدرولیک Wenty chow
- (۱۴) یادداشت شخص و تجارب اجرایی در صنعت آب و برق کشور