

منابع : هیدرولیک و مجاری (کمال های باز) - دکتر ابریشی

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

5 $P = \gamma \cdot h \rightarrow \text{فوق صاف } F = P_G \cdot A = \gamma \cdot \bar{h} \cdot A = \gamma \cdot \bar{y} \sin \theta \cdot A$

مولفه افقی دارد بر تصویر آن جسم $\rightarrow$ مولفه افقی $\left\{ \begin{array}{l} \text{سطح منحنی} \\ \text{وزن قائم بالای آن جسم} \rightarrow \text{مولفه عمودی} \end{array} \right.$

10 معادله پیوستگی $\rightarrow Q_{in} = Q_{out}$
 $V_{in} A_{in} = V_{out} A_{out}$

معادله شتاب $\rightarrow F_x = \rho Q (V_{xout} - V_{xin})$
 $F_y = \rho Q (V_{yout} - V_{yin})$

15 معادله برنولی (انرژی) $\rightarrow z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \sum_{1 \rightarrow 2} h_f$

رابطه دarcy و weisbach $\rightarrow h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$

20

25

1- فصل اول - جریان در کانال های باز و طبیعت بندی آنها

2- فصل دوم - ویژگی کانال های باز و خصوصیات آنها

3- فصل سوم - کاربرد موستم و اثری در کانال ها (مستم)

4- فصل چهارم - جریان بخرابی، محاببات و کاربرد ها (مستم)

5- فصل پنجم - جریان تکنواف (مستم)

6- فصل ششم - جریان های متغیر تدریجی (مستم)

* فصل اول جریان در کانال های باز و طبیعت بندی آنها *



10 * عامل تأثیرگذار شکل مقطع است

بلکه میزان آب یا ریال در آن

عامل حرکت آن بستگی دارد

جریان تحت فشار

جریان روباز

(تحت اثر یک عامل بیرونی مانند پمپ حرکت کند)

(تحت اثر نیروی ثقلی خودش حرکت)

* یکی از شرط های جریان روباز این است که قسمتی از آن هوای باشد

15 * مقدمه: مقایسه جریان در کانال های باز و مجاری تحت فشار:

جریان مایع در یک مجرا ممکن است به دو صورت تحت فشار و یا جریان آزاد صورت پذیرد و از این

نظر می توان هیدرولیک مجاری را به هیدرولیک مجاری تحت فشار و هیدرولیک کانال های باز تقسیم

نمود. در جریان تحت فشار نمی توان آن را جریان در مجاری بسته نیز نامید، تمام مایع

درون یک مرز جامد محصور شده است ولی در کانال باز مایع در حرکت در تمام مرزها در

تماس با جداره ی جامد نمی باشد بلکه یک مرز جریان در تمام مسیر در معرض فشار اتمسفر (هوا)

قرار دارد.

25 - در معنای عمران جریان تحت فشار عموماً شامل جریان آب در لوله های آبرسانی شهری.

شبکه های توزیع آب شهری و لوله کشی ساختمان ها می باشد. ولی جریان در کانال های باز

حرکت آب در آبراه های طبیعی نظیر رودخانه ها و نهادهای آبراه های مصنوعی مانند کانال های

Soroush آبرسانی و کانال های آبیاری، شبکه های جمع آوری و انتقال و امثال

جریان در آبروهای چاره‌ها و یا حاشیه حیاتبان‌ها را شامل می‌گردد.

* قنیه بنی کانال‌ها :

5

کانال ← قنیه
مستوی ←

کانال ← مقاطع منشوری اگر یک سطح مقطع در یک طول به صورت ثابت و یک شکل ادامه پیدا کرده باشد. 10
مقاطع غیر منشوری " " " " " " غیر یکدخت و غیر هم شکل " " " "

کانال ← با مصالح ثابت (خبره‌ای ثابت) کانال‌هایی که با مصالح بنایی - بتن یا فولادی تشکیل شده باشد. 15
با مصالح فرسایش پذیر کانال‌هایی باشد که با مصالح آبیاری که از خاک است.

* کانال‌ها از عمده کانال مورد استفاده / ذوزنقه‌ای شکل است. علت امر آن است
نظر شکل هندسی ساده : که شباهت‌های کانال بالا سطح مقطع بالایی دارند نسبت به کانال
شده توسط آب ۷. همچنین میزان عبور دهن آب از مقطع ذوزنقه‌ای راحت‌تر است 20
و بهر حال نسبت به دو حالت بالا.

نوع دیگری از کانال‌ها  که معمولاً در سطح زمین حفاری می‌شوند و بالاتر از سطح زمین قرار دارند

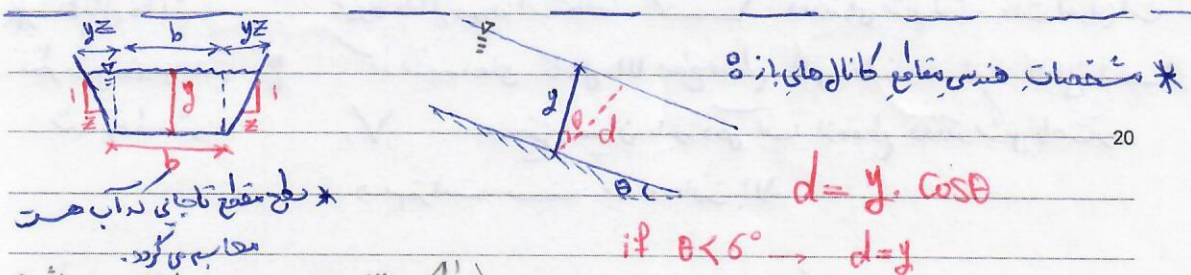
25

* انواع مقاطع کانال های باز : در انتخاب مقطع کانال های باز علاوه بر نکات هیدرولیکی عوامل دیگری از قبیل مصالح، دسترسی، امکانات اجرایی، شرایط محلی و نکات سازهای دخالت دارند. (انواع این مقاطع را می توان بصورت زیر بیان کرد:

5- **1- مقطع دوزقی** : این مقطع معمول ترین شکل برای کانال های آبیاری بوده و در کانال های که در مصالح خاکی حفر شده و دارای پوششی از جنس مصالح سخت نمی باشد کاربرد دارد. شیب گذاره ها پایداری عمومی آن ها را در مقابل لغزش تأمین می کند. مقاطع متصل و مشتق حالت خاصی از مقطع دوزقی می باشد. مقطع متصلی می تواند در مصالح سنگی حفر گردد و یا دارای پوششی از جنس مصالح سخت باشد. کانال های مشتق نه دی های کم در آبروی حاشیه ی خرابان ها و جاده ها و یا کارهای آبریزگاهی مورد استفاده قرار می گیرد.

15 **2- مقطع دایره ای** : این مقطع از مصالح معمول در سیستم های جمع آوری و انتقال فاضلاب است. کانال های دایره ای می تواند به شکل پیش ساخته ملاتریه گلوله تولید شده و به صورت مدفون در خاک قرار گیرند.

15 **3- مقطع سهمی شکل** : مقاطع سهمی شکل می تواند به عنوان یک تقریب برای کانال های طبیعی با اندازه های متوسط و کوچک به کار رود.



(Δ' : ازای ۱ متر عمود z متر کانال عرضی شود)

$$A = \frac{b + b + 2zy}{2} \times y = y(b + zy) = by + zy^2$$

25 اگر متصل $\rightarrow A = by, z = 0$

اگر مشتق $\rightarrow A = zy^2, b = 0$

$$T = b + 2zy$$

(فقط از سیال که در تماس با هواست)

$$P = b + 2y \sqrt{1+z^2}$$

(فقط از کانال که در تماس با سیال است)

$$y \sqrt{z^2 + 1} = \sqrt{y^2 + z^2 y^2} = y \sqrt{1+z^2}$$

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

10

$$D = \frac{A}{T} = \frac{y(b+zy)}{b+2zy}$$

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

* فاکتور سطح در محاسبه
محتمل تر

15

* طبقه بندی جریان در انواع کانال های باز:

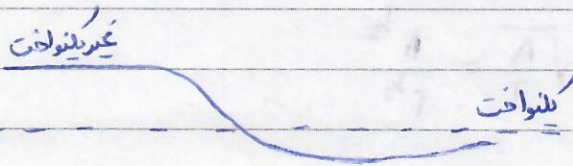
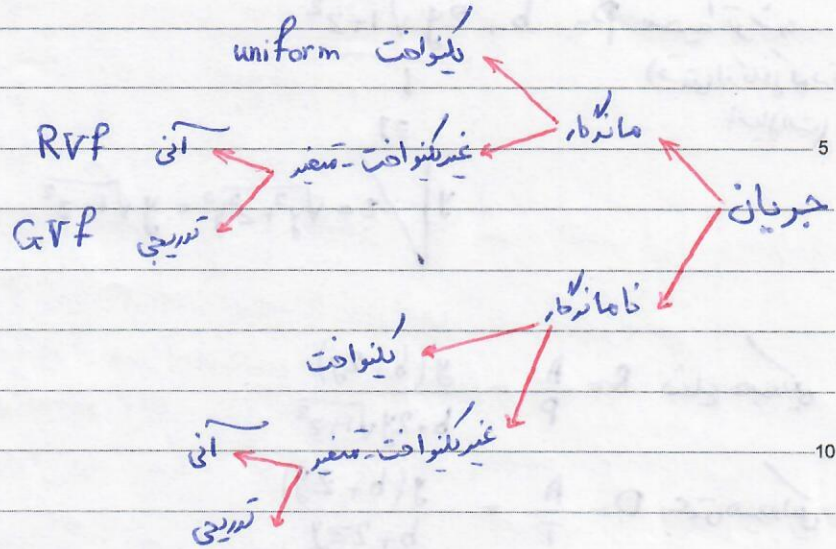
+ طبقه بندی جریان بر اساس تغییرات شرایط جریان با زمان

* این طبقه بندی (بر اساس تغییرات شرایط جریان) برای یک نقطه از کانال است در هر آن 20 است که جریان برای تمام نقاط یکسان باشد.

* اگر تغییرات دبی زیاد نباشد جریان را ماندگار در نظر می گیریم.

ناماندگار متغیر ← سیلاب (سریم) ← ماندگار متغیر ← مانع جلوی آب
آبشار

* نه صفت بندي بر اساس مکان جریان در تمام کانال مدنظر است.



(steady flow) $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$

(unsteady flow) $\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0$

دانی یا ماندگار

نا ماندگار یا غیر دانی

+ جریان بر اساس تغییرات شرایط
جریان با زمان

(uniform flow) $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$

(nonuniform flow) $\frac{\partial y}{\partial x} \neq 0$

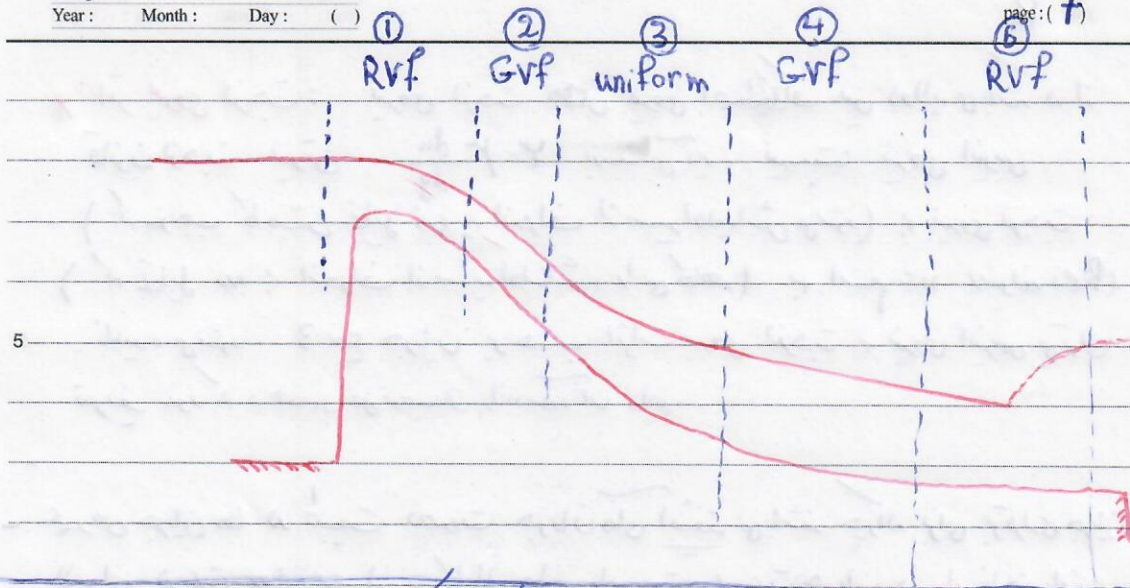
یکنواخت

غیر یکنواخت

+ جریان بر اساس تغییرات شرایط
جریان با مکان

(Rapid Variation flow) $\leftarrow$ (RVF) آنی

(GVF) تدریجی



10

① $Re = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی ناشی از لزجت}} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$ (عدد رینولدز (بروز بعد))

وضعیت جریان در کانال های باز:

- $Re < 500$ (Laminar flow) - آرام (لایه ای)
- $500 < Re < 2000$ (transition flow) - ناحیه انتقال
- $Re > 2000$ (Turbulent flow) - آشفتگی

15

② $F_r = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی ثقل}} = \frac{V}{\sqrt{gD}}$ (عدد فرود)

وضعیت جریان برحسب F_r :

- $F_r < 1$ (subcritical flow) - جریان زیر بحرانی (ارزی کم)
- $F_r = 1$ (critical flow) - جریان بحرانی
- $F_r > 1$ (super critical flow) - جریان فوق بحرانی

* نکته: جریان ها در طبیعت جریان های آشفته هستند.

20

مثال برای عدد رینولدز (Re):

if $\frac{b}{y} > 10$, $b \gg y$ (کانال عمیق)

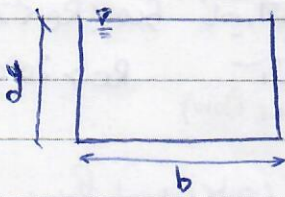
$R = \frac{by}{b+2y} \approx y$, $D^* = \frac{A}{T} = \frac{by}{b} = y$

(کانال مستطیلی عمیق)

مقدار $2y$ ناچیز است و می توان صرف نظر کرد

*** اثر نیروی لزجت:** نیروی لزجت همان نیروی اصطکاک بین دو لایه می باشد که از قانون لزجت نیوتن $\frac{du}{dy}$ بدست می آید. نسبت نیروی انریسی (که موجب کاهش تمایل ذره به انحراف از مسیر اولیه اش می شود) به نیروی لزجت (که تمایل ذره به انحراف از مسیر اولیه اش را می کاهد) به اسم عدد رینولدز (Re) نامیده می شود. 3 نوع جریان بر حسب اثرات نیروی لزجت به نیروی انریسی می توان تعریف نمود که در هفتمی قبل توضیحات را در مورد آن دادم.

بعضی جریان ها در طبیعت بصورت جریان های آشفته می باشند. چراکه برای برقراری جریان لایه ای در محقق های معمول در کانال ها می بایست سرعت جریان بسیار ناچیز باشد. 10 به عنوان مثال در یک کانال مستطیل عریض برای برقراری جریان لایه ای مطابق محاسبات زیر سرعت جریان مقدار بسیار کم $\frac{1}{5} \times 0.005$ خواهد داشت.



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

$$D = \frac{A}{\tau} = \frac{by}{b} = y$$

$$500 = Re = \frac{v \cdot R}{\nu} = \frac{v \cdot y}{10^{-6}} \rightarrow v \cdot y = 5 \times 10^{-4}$$

$$v = \frac{5 \times 10^{-4}}{1.1} = 0.0005 \frac{m}{s}$$

*** اثر نیروی ثقل:** عمده ترین نیروی مؤثر بر جریان آب در کانال های باز نیروی ثقل است. 20 که عامل اصلی جریان در کانال مولفنی افقی نیروی وزن در امتداد مسیر جریان $(ws \sin \theta)$ می باشد. تأثیر نیروی ثقل در قالب پارامتر دینامیکی بدون بعدی به نام عدد فرود مورد بررسی قرار می گیرد. این عدد در هر مقطع از جریان بصورت زیر تعریف می شود:

$$F_r = \frac{\text{نیروی انریسی}}{\text{نیروی ثقل}} = \frac{v}{\sqrt{gD}} = \frac{v}{\sqrt{gy}}$$

معمولاً کانال

$$D = y \rightarrow \text{در کانال مستطیل عریض}$$

باتوجه به مقدار عدد فرود جریان ها را به دستای زیر طبقه بندی می کنیم:

1- اگر عدد کمتر از 1 ($Fr < 1$) باشد جریان زیر بحرانی است. در این نوع جریان به ازای یک دبی ثابت عمق جریان زیاد و سرعت کم می باشد. در این حالت موج حاصل در پایین دست به بالا دست منتقل می شود و رفتار بالا دست از پایین دست جریان تأثیر می پذیرد.

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

2- در صورتیکه $Fr = 1$ باشد، جریان بحرانی نامیده می شود. (توقیفات نیست در مورد جریان بحرانی)



(در فصل بعد)

3- اگر $Fr > 1$ باشد جریان فوق بحرانی نامیده می شود. در این شرایط به ازای یک دبی ثابت، عمق جریان کم و سرعت زیاد خواهد داشت. با توجه به اینکه سرعت در استوای جریان ها بیشتر از سرعت موج سطحی می باشد، لذا در این وضعیت بین پایین دست و بالا دست جریان ارتباط هیدرولیکی مشاهده نمی شود و موج حاصل از اختلاش موضعی در جریان قابلیت انتقال به بالا دست جریان را ندارد.

- مثال: آبی بصورت کنوافت و با دبی $8.5 \frac{m^3}{sec}$ در یک کانال دوزنقه ای با مشخصات $b_s = 3.05m$ و $z = 1.5m$ در جریان است. عمق جریان $1.22m$ می باشد. رژیم جریان را تعیین کنید. ($V = 1.0^{-6} \frac{m^2}{sec}$)

$$Q = V \cdot A$$

$$A = by + zy^2 = 3.05 \times 1.22 + (1.5 \times 1.22^2) = 5.954 \quad V = 1.43 \frac{m}{sec}$$

$$20 \quad Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.43}{\sqrt{9.8 \times 1.887}} = 0.485 < 1 \rightarrow \text{جریان زیر بحرانی است}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{5.954}{6.71} = 0.887$$

عمق هیدرولیکی

$$25 \quad R = \frac{A}{P} = \frac{by + zy^2}{b + 2y\sqrt{1+z^2}} = \frac{3.05 \times 1.22 + 1.5 \times 1.22^2}{3.05 + 2 \times 1.22 \sqrt{1+1.5^2}} = \dots$$

$$\text{Soroush } Re = \frac{VR}{\nu} = \frac{1.43 \times 0.887}{10^{-6}} = 1.24 \times 10^6 > 2000$$

جریان استقراری

* رژیم جریان: تأثیر مشترک نیروی ثقل (Fr) و نیروی لزجت رژیم جریان در کانال های باز مشخص می کند

مثال: کانالی با عرض 30 m و عمق 1.2 m به میزان $13.5\text{ m}^3/\text{sec}$ (بی این) است. در شرایط آزمایشگاهی مدل از آن می شود. کوچکترین عرض کانال که برای آن عدد رینولدز بزرگتر از 2000 باقی بماند را

پایاب $(\nu = 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}})$
(چون $\neq$ زرد رنگ است)
 $b_p = 30\text{ m}$, $y_p = 1.2\text{ m}$, $Q_p = 13.5 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ (ایجاد واقعی)

5 برای اینکه در مقیاس آزمایشگاهی عدد فرود در مدل = عدد فرود در واقعیت
مدل از آن می شود

$$F_{rp} = F_{rm}$$

$$\rightarrow \frac{V_p}{\sqrt{g D_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g D_m}}$$

$$\begin{cases} Q_p = A_p \times V_p \rightarrow 13.5 = 36 \times V_p & V_p = 0.375 \\ A_p = 30 \times 1.2 = 36\text{ m}^2 \end{cases}$$

10

$$D = \frac{A}{T} = \frac{36}{6 \times 30} = 1.2$$

$$\rightarrow \frac{0.375}{\sqrt{1.2}} = \frac{V_m}{\sqrt{g y_m}} \rightarrow V_m = 0.342 \sqrt{y_m}$$

$$Re = \frac{V_m \cdot R_m}{\nu} = \frac{V_m \cdot y_m}{10^{-6}} > 2000 \rightarrow 0.342 \sqrt{y_m} > \frac{2000 \times 10^{-6}}{y_m}$$

15

$$\rightarrow 0.342 y_m \sqrt{y_m} > 2 \times 10^{-3} \quad y_m > 0.032\text{ m}$$

$$\frac{1.2}{0.032} = 37.5$$

20

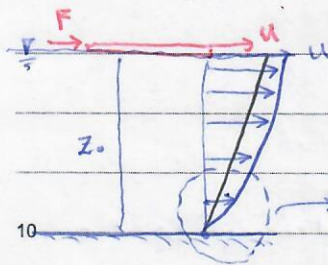
نکته: * برای مدل از سیروئیس مناسبی ما عدد فرود F_r است.

25

+ معادله پیوستگی : $Q = VA \quad Q_{in} = Q_{out}$

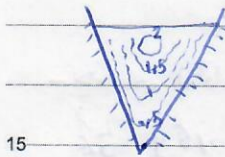
+ معادله مومنتم : $\Sigma F = \rho Q (V_{out} - V_{in})$ پایه آبی β ضریب سطح

+ معادله انرژی : $Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \Delta F_{1 \rightarrow 2}$ ضریب سطح α



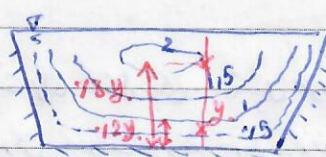
* سرعت لایه مرز چیده سرعت آن با سیال در حال جریان برابر است.

تغییرات سرعت دو لایه‌ای ثابت زیرین بیشترین تغییرات را دارد.



15

* کانتر سرعت: خط‌های شیب‌دار که سرعت در تمامی نقاط آن خط برابر است



توزیع سرعت در کانال‌ها:

* معمولاً سرعت بیشینه معمولاً در فاصله 0.2 تا 0.25 از سطح آب است.

$$V_{m \text{ متوسط}} = \frac{V_{12y} + V_{15y}}{2}$$

$$V_{max} = V_{12y} \sim 0.25y$$

20

از سطح آب $V_m = V_{15y}$ در بسیاری از کارها

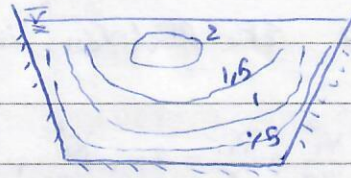
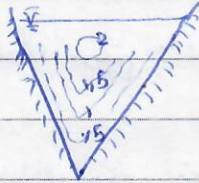
* توزیع سرعت در کانال‌ها: با توجه به تأثیر لزجت آب، وجود جداره و زبری آن‌ها، وجود سطح آزاد آب

و همچنین نامنظمی مقاطع، توزیع سرعت در کانال‌ها پیچیده و بدیجری می‌باشد و سرعت آردن در این رابطه

کلی که بیانگر توزیع سرعت در کانال‌های با خصوصیات متفاوت باشد امکان پذیر نیست به عبارت دیگر 25

فرض ثابت بودن سرعت در سطح مقطع جریان درست نبوده و با اندازه‌گیری سرعت طولی در حقیقت آن را

مقطع از جریان می توان منحنی های هم سرعت را در کانال هایی با مقطع مختلف ترسیم نمود.



5



10 - به تجربه ثابت شد که در صورتی که سرعت در اعماق 1.2 و 1.8 از اندازه گیری شود میانگین این دو سرعت، سرعت متوسط در آن مقطع را خواهد داد.

$$V_m = \frac{V_{1.2} + V_{1.8}}{2}$$

15 - چنانچه از قانون تجربی توزیع سرعت برای کانال های مستطیلی تعیین استفاده شود، می توان سرعت در مخت 1.6 از سطح آب را به عنوان سرعت متوسط جریان در نظر گرفت. همچنین بررسی های تجربی نشان می دهد که بیشترین سرعت در یک مقطع را می توان در مخت 0.2 تا 0.25 از سطح آب در نظر گرفت.

20 * **فقرایب اصلاح سرعت:** با توجه به آنکه در استخراج معادلات مومنتم و انرژی سرعت بصورت متوسط در هر مقطع در نظر گرفته شده است و با توجه به مطالب بیان شده در مورد توزیع سرعت در کانال ها جهت محاسبی دقیق مومنتم و انرژی می بایست فقرایب اصلاح مومنتم (B) و فقرایب اصلاح انرژی (α) مطابق روابط زیر در محاسبات لحاظ شوند:

$$\beta = \frac{\text{سرعت واقعی مومنتم}}{\text{سرعت متوسط مومنتم}} = \frac{\int_A \rho V^2 dA}{\rho V_m^2 A} = \frac{\int_A V^2 dA}{V_m^2 A} = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{V}{V_m} \right)^2 dA = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 \cdot A_i}{V_m^2 \cdot A}$$

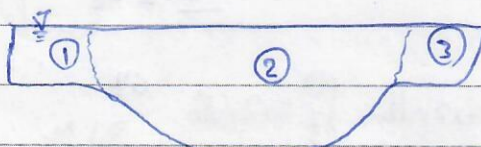
$$\alpha = \frac{\text{فقرایب اصلاح انرژی}}{V_m^3 A} = \frac{\int_A V^3 dA}{V_m^3 A} = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{V}{V_m} \right)^3 dA = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^3 \cdot A_i}{V_m^3 A}$$

$$\rightarrow \Sigma F = PQ(\beta_{out} V_{out} - \beta_{in} V_{in})$$

$$\rightarrow Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \Delta E_{1 \rightarrow 2}$$

5

به عنوان مثال برای یک مقطع مرکب مطابق شکل زیر مقادیر α ، β از روابط زیر محاسبه می شوند:



$$10 \quad \alpha = \frac{V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3}{V_m^3 (A_1 + A_2 + A_3)}$$

$$\beta = \frac{V_1^2 A_1 + V_2^2 A_2 + V_3^2 A_3}{V_m^2 (A_1 + A_2 + A_3)}$$

15

$$V_m = \frac{V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

نکته: برای هر شرایط معین متون نسبت بین α ، β ، γ از رابطه‌ی تجربی زیر بدست آید:

20

$$\frac{\alpha - 1}{\beta - 1} = 2.7 \sim 2.8$$

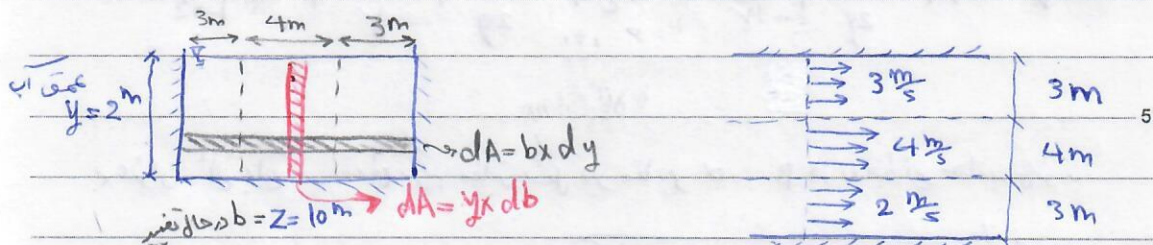


25

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta)$$

$$P = \frac{D}{2} \theta$$

مثال: در کانال شکل زیر که سطح مقطع جریان مستطیل شکل است، عرض دکت 10 m و عمق جریان 2 m است. دیاگرام توزیع سرعت مطابق شکل زیر باشد. مطلوبست محاسبه ضرایب α و β .



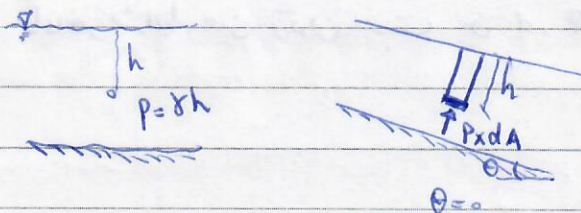
$$\alpha = \frac{\int V dA}{A \bar{V}} = \frac{\int_0^3 3 \times 2 \times db + \int_3^7 4 \times 2 \times db + \int_7^{10} 2 \times 2 \times db}{10 \times 2} = 3.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\alpha = \frac{1}{A} \int \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^3 dA = \frac{1}{20} \left[\int_0^3 \left(\frac{3}{3.1} \right)^3 \times 2 db + \int_3^7 \left(\frac{4}{3.1} \right)^3 \times 2 db + \int_7^{10} \left(\frac{2}{3.1} \right)^3 \times 2 db \right]$$

$\alpha = 1.212$

$$\beta = \frac{1}{A} \int \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 dA = \dots = 1.072$$

* توزیع فشار در اطلال ها: مقدار فشار در هر نقطه از سطح مقطع جریان به یک واحدی برضوت اندازه گیری می شود. چنانچه شیب کانال کم باشد و خطوط جریان موازی باشند، توزیع فشار به صورت هیدروستاتیک در نظر گرفته می شود.



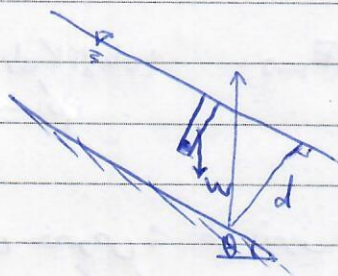
$$\sum F_n = m \times a_n \rightarrow \sum F_n = 0 \rightarrow p \cdot dA - \gamma h \cdot dA = 0$$

استاتیکی و در جهت جریان

$$p = \gamma h_s$$

در این حالت h برابر است با ارتفاع پیزوستاتیک و برابر است با h_s که قاعده‌ی تقاضی مورد نظر تا سطح آزاد آب را بیان می‌کند.

چنانچه شیب کف کانال زیاد باشد در این حالت اثرات شیب در روابط به صورت زیر خواهد بود.

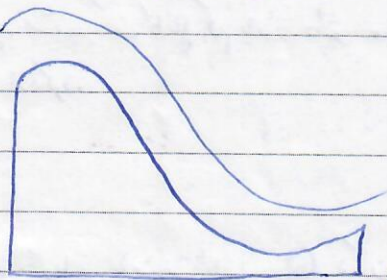


$$P = \gamma h \cos \theta$$

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

$$d = y \cos \theta$$

زمانی که جریان از روی صفحات دارای انحنای عمود منته (تقریباً تصویب) می‌گذرد با افزایش عمق از سطح آب به صورت هیدروستاتیکی تقریبی نگریته و اثرات شتاب کینماتیک مرکز نیز در محاسبات فشار لحاظ می‌شود.



$$\sum F_n = \max$$

$$P dA - \gamma h dA = \rho h dA \frac{V^2}{r}$$

$$P = \rho h \frac{V^2}{r} + \gamma h$$

$$h = h_s + \frac{V^2}{2g} \quad (d) \text{ قاعده از سطح آب}$$

h_s قاعده‌ی تقاضی مورد نظر تا سطح آزاد

20

25

* فصل دوم : ک، برد معادله انرژی

$$E_1 = E_2 + \Delta h_{1 \rightarrow 2}$$

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \Delta E_{1 \rightarrow 2}$$

$$P = \gamma h_{\text{مستطیل}}$$

$$\rightarrow Z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta E_{1 \rightarrow 2}$$

معادله انرژی برای کانال های با شیب کم

* انرژی مخصوص : طبق تعریف انرژی مخصوص عبارت از انرژی در هر سطح مقطع در واحد وزن نمایی که نسبت به کف کانال در همان مقطع منبیره شود.

$$E_s = d \cos \theta + \frac{v^2}{2g}$$

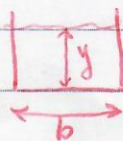
چنانچه شیب کف کانال کم باشد طبق مباحث مطرح شده می توان رابطه ای انرژی مخصوص را به صورت زیر ساده کرد.

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

چنانچه جریانی با شدت ثابت Q در یک کانال مستطیلی به عرض ثابت b و با شیب کم برقرار باشد با توجه به تعریف انرژی مخصوص می توان رابطه ای زیر را بین انرژی مخصوص و عمق جریان برپا آورد.

$$E_s = y + \frac{q^2}{2gy^2} \rightarrow E_s = y + \frac{q^2}{2gy^2} \rightarrow E_s y^2 = y^3 + \frac{q^2}{2g}$$

$$q = \frac{Q}{b} \rightarrow y^2(E_s - y) = \frac{q^2}{2g}$$

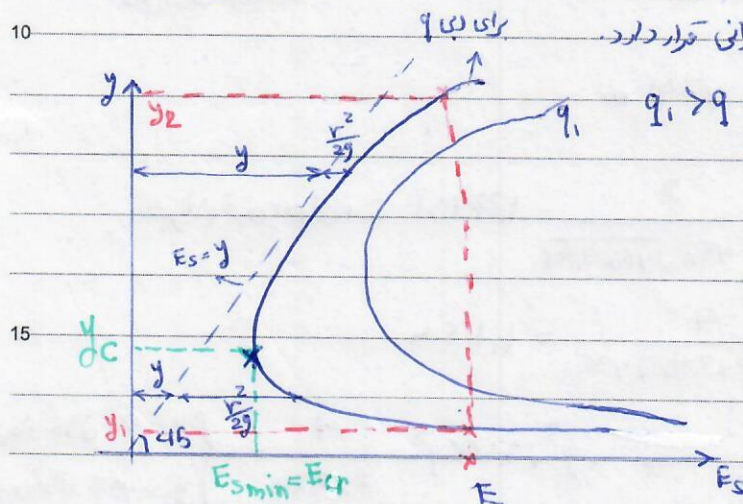


$$y^2(E_s - y) = \text{cte}$$

ثابت

با استفاده از رابطه‌ی همدگر می‌توان مقدار E_s را نسبت به y برای یک مقدار ثابت q رسم نمود.
این معادله دارای دو معادله $E_s = y$ و $y = 0$ می‌باشد. از نظر فیزیکی می‌توان گفت که با افزایش y از ارتفاع معادله سرعت کاهش شده و با کاهش y به ارتفاع معادله سرعت افزوده می‌شود.

نکته‌ی اول در برخورد با نمودار آن است که به ازای هر انرژی مشخص ثابت امکان شکل‌گیری دو حالت جریان وجود دارد. که یکی بزرگتر مربوط به جریان زیر بحرانی و یکی کوچکتر مربوط به جریان فوق بحرانی می‌باشد. این دو حالت بنا بر تعریف اعمای متساوی نامیده می‌شوند. پس ترتیب شاخصی بالایی منحنی وضعیت جریان زیر بحرانی و شاخصی پستی منحنی وضعیت جریان فوق بحرانی را به ازای یک y ثابت به واحد عرض نشان می‌دهد. نکته‌ی دوم در ارتباط با منحنی مقدار $\min$ انرژی است، که روابط زیر نشان می‌دهد در این نقطه جریان در حالت بحرانی قرار دارد.



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

20

$$\frac{dE}{dy} = 1 + \frac{q^2}{2g} \times -2y^{-3} = 0$$

حالت بحرانی زمانی است

$$\frac{dE}{dy} = 0 \rightarrow \frac{q^2}{gy^3} = 1 \rightarrow y^3 = \frac{q^2}{g} \rightarrow y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

25

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gy}} = \frac{\sqrt{y^3g}}{y \cdot \sqrt{gy}} = \frac{y^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{g}}{y^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{g}} = 1$$

در نقطه‌ی بحرانی y_c

$$\text{Soroush } q = VA = V \cdot (y \cdot b) \rightarrow q = V \cdot y$$

$$v = \frac{q}{b}$$

$$v = \frac{q}{b}$$

$$\frac{V}{\sqrt{gy}} = Fr = 1 \rightarrow V = \sqrt{gy}$$

برای کانال مستطیل

$$E_{smin} = E_c = y_c + \frac{V^2}{2g} = \frac{3}{2} y_c \rightarrow E_c = \frac{3}{2} y_c$$

مثال: آب با بی $20 \frac{m^3}{sec}$ در کانالی مستطیلی به عرض $10 m$ جاری است. مطلوب است محاسبه عمق جریان بحرانی و نیز تعیین وضعیت جریان چنانچه عمق برابر $1.6 m$ باشد. عمق مشاوب نظیر آن

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{20}{10} = 2 \frac{m^2}{sec}$$

احتمال دیک انرژی دارند

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{2^2}{9.806}} = 0.741 m$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{q}{y \sqrt{gy}} = \frac{2}{0.6 \times \sqrt{0.6 \times 9.806}} = 1.374 > 1$$

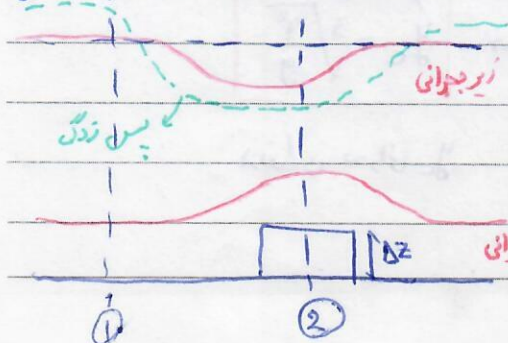
جریان فوق بحرانی است

$$E_s = y + \frac{q^2}{2gy^2} = 0.6 + \frac{4}{2 \times 9.806 \times 0.6^3} = 1.166 m$$

$$1.166 = y + \frac{4}{2 \times 9.806 \times y^2} \rightarrow y^3 + 1.166 y^2 - \frac{4}{2 \times 9.806} = 0 \begin{cases} y_1 = 0.6 \text{ عمق فوق بحرانی} \\ y_2 = 1.93 \text{ عمق زیر بحرانی} \\ y_3 = \dots \end{cases}$$

* تحلیل جریان ناشی از یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی شکل:

توضیح: چنانچه یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی وجود داشته باشد می توان معادله انرژی بین دو مقطع را بصورت زیر نوشت:

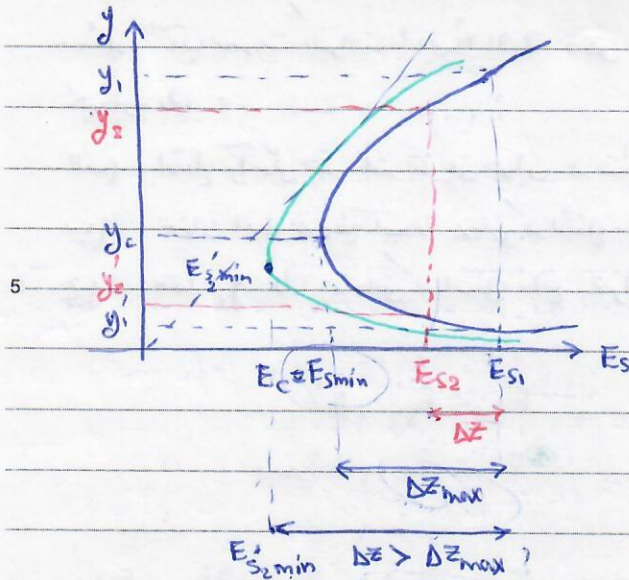


$$E_1 = E_2$$

$$E_{s1} = \Delta Z + E_{s2} \rightarrow E_{s1} = E_{s2} + \Delta Z$$

$$\left(\underbrace{Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + y_1}_{E_{s1}} = \underbrace{Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + y_2}_{E_{s2}} \right)$$

Soroush



$$E_{s2} = E_c \quad \text{زمانی که } \Delta Z_{max} \text{ زمان از دست داده است}$$

$$E_{s2} = E_c \quad \text{وقتی } \Delta Z > \Delta Z_{max}$$

یعنی ضمن حرکت از مقطع ۱ به ۲ انرژی مخصوص به اندازه ΔZ کاهش پیدا کرده است. حال در تحلیل جریان باید به نکات زیر توجه شود:

۱- در صورتی که وضعیت جریان قبل از برآمدگی زیر بحرانی باشد، (یعنی y_1) این عمق به عمق y_2 تبدیل می شود که با توجه به شکل منحنی به راحتی می توانست که عمق y_1 از عمق y_2 کمتر است.

15

۲- اگر وضعیت جریان قبل از برآمدگی فوق بحرانی باشد، عمق y_1 به عمق y_2 تبدیل شده که با توجه به منحنی با افزایش عمق همراه است.

۳- جهش از یک شاقه منحنی به شاقه دیگر منحنی امکان پذیر ندارد. چون با فرض عدم تغییر q این امر مستلزم آن است که تغییر در عمق یا به صورت یک دفعه صورت پذیرد که با فرضی منتهی به جهش نمی باشد و یا اینکه این جهش بصورت تدریجی انجام شود که لازمی این امر نیز کاهش انرژی مخصوص و افزایش مجدد آن است [محلایی که ایجاد برآمدگی در کف کانال قضا شامل کاهش انرژی مخصوص می شود.

20

۴- در صورتی که ارتفاع برآمدگی به گونه ای باشد که انرژی مخصوص در مقطع ۲ از E_{smin} کمتر شود

25

در چنین حالتی جریان مجبور به تغییر شرایط خود (حالت خود) قبل از برآمدگی می باشد و رفتار دو جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی در چنین حالتی متفاوت خواهد بود.

مثال: آب بصورت یکنواخت با دبی $9.91 \frac{m^3}{sec}$ و عمق $1.83 m$ در یک کانال مستطیلی به عرض $3.05 m$ جریان دارد:

(الف) ارتفاع پراسنگی چقدر باشد تا عمق جریان در مقطع 2 بحرانی شود (ارتفاع چقدر باشد تا عمق به بالاست تغییر کند)

(ب) میزان افت در سطح آب را زمانی که ارتفاع مانع نصف حالت الف باشد تعیین نماید.

(ج) مقدار y_1 را در حالتی که ارتفاع مانع 2 برابر حالت الف باشد محاسبه نماید.

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{9.91}{3.05} = 3.25 \frac{m^2}{sec} \quad , \quad E_{S1} = E_{S2} + \Delta Z$$

$$E_{S1} = E_c + \Delta Z_{max}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(3.25)^2}{9.806}} = 1.025 m \quad E_c = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \times 1.025 = 1.54 m \quad 10$$

$$E_{S1} = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = 1.83 + \frac{3.25^2}{2 \times 9.806 \times 1.83^2} = 1.99 m$$

$$\Delta Z_{max} = E_1 - E_c = 1.99 - 1.54 = 0.45 m \quad \text{+ جریان زیر بحرانی}$$

$$1.83 > 1.025 = y_c \quad 15$$

ب) $\Delta Z = \frac{0.45}{2} = 0.225 m$

$$E_{S1} = E_{S2} + \Delta Z \rightarrow E_{S2} = E_{S1} - \Delta Z = 1.99 - 0.225 = 1.765 m$$

$$E_{S2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} = 1.765 \rightarrow y_2^3 - 1.765 y_2^2 + 0.53 = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} y_2 = 1.53 m \\ y_2 = \dots \end{array} \right. \quad 20$$

ج) $\Delta Z = 2 \times 0.45 = 0.9 m$

$$\Delta Z > \Delta Z_{max} \rightarrow E_{S2} = E_c$$

$$\rightarrow y_2 = y_c = 1.025 m \quad , \quad E_{S1} = E_c + \Delta Z = 1.54 + 0.9 = 2.44 m$$

$$E_{S1} = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = 2.44 \rightarrow y_1^3 - 2.44 y_1^2 + 0.53 = 0 \quad \left\{ y_1 = 2.35 m \right. \quad 25$$

$$q_2 > q_1 \quad \uparrow q = \frac{Q}{A_1}$$

* جریان ناشی از یک تنگنای موضعی در کانال مستطیلی: زمانی که قسمتی از یک کانال دچار کاهش عرض شود مقدار دبی عبوری ^(q) در واحد عرض بین دو مقطع تغییر می کند. اما در این حالت با توجه به آنکه گف کانال تفسیری ندارد با استفاده از معادله انرژی [به این تغییر در رسم که انرژی مخصوص در این دو مقطع برابر خواهد بود] در این حالت با توجه به افزایش دبی در واحد عرض برای مقطع دوم منحنی انرژی مخصوص برابر خواهد بود. برای مقطع دوم هم به سمت چپ حرکت خواهد کرد [در صورتی که قبل از تنگنای موضعی 5 مقدار انرژی مخصوص برابر E_1 هنگام رسیدن به تنگنا مقدار انرژی مخصوص ثابت مانده ولی منحنی انرژی منحنی با مشخصه q_1 به معنی با مشخصه q_2 قطع خواهد شد. در این حالت شرایط زیر بوجود خواهد آمد:

1- چنانچه وضعیت جریان قبل از تنگنا زیر بحرانی باشد، یعنی جریان از مقدار q_1 به مقدار q_2 کاهش خواهد یافت.

10

2- در صورتی که وضعیت جریان قبل از تنگنا فوق بحرانی باشد، یعنی جریان از مقدار q_1 به مقدار q_2 افزایش خواهد داشت.

15

3- امکان جهش از یک شاخه منحنی به شاخه دیگر وجود ندارد.

4- هرگاه کاهش عرض به گونه ای باشد که منحنی با مشخصه q_2 در سمت راست خط قائم به معادله $E_2 = E_1$ قرار گیرد، در اینصورت هیچ نقطه ای از این منحنی با مشخصه q_2 جواب مسئله نخواهد بود.

در این حالت در صورتی که وضعیت جریان قبل از تنگنا زیر بحرانی باشد، وضعیت انرژی پس از آن و انرژی مخصوص قبل از تنگنا به اندازه ای افزایش پیدا خواهد کرد که عبور جریان از مقطع دوم با حداقل 20

انرژی مخصوص ممکن گردد. که این کار باعث افزایش عمق در مقطع 1 خواهد شد و عمق در مقطع دوم در مقیاس q_2 بحرانی تثبیت می شود. چنانچه وضعیت جریان قبل از تنگنا فوق بحرانی باشد، انشعاب انرژی پس از تنگنا به بالایی ممکن نخواهد بود و لذا قبل از رسیدن به تنگنا پرتش هیدرولیکی اتفاق خواهد افتاد.

25



$$q_1 = \frac{Q}{b_1}$$

$$q_2 = \frac{Q}{b_2}$$

$$q_2 > q_1$$

$$E_1 = E_2$$

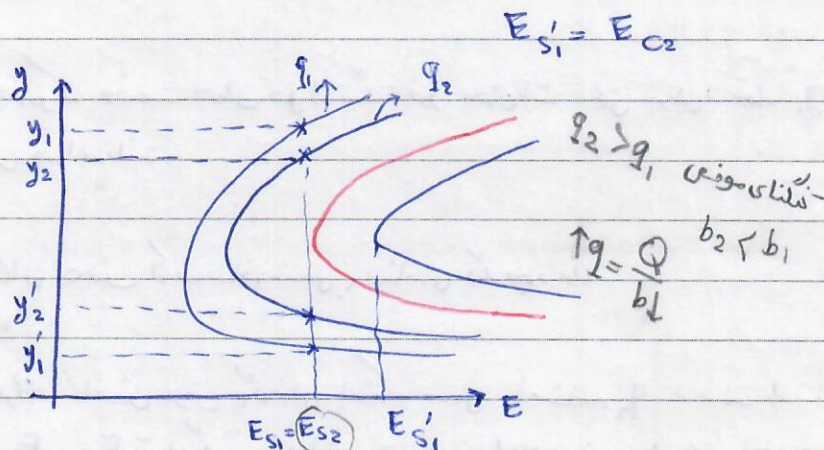
$$\underbrace{y_1 + \frac{v_1^2}{2g}}_{E_{s1}} + y_1 = \underbrace{y_2 + \frac{v_2^2}{2g}}_{E_{s2}} + y_2$$

$$y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q_2^2}{2gy_2^2} \quad 5$$

$$E_{s1} = E_{s_{min2}} = E_{c2}$$

$$y_{c2} = \sqrt[3]{\frac{q_2^2}{g}}, \quad E_{c2} = \frac{3}{2} y_{c2}$$

10



15

مثال: در یک کانال مستطیلی به عرض $b_1 = 30 \text{ m}$ و $Q = 90 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ با عمق $y_1 = 2.5 \text{ m}$ جریان دارد. مانع عرض $b_2 = ?$ بیش آمدن آب به پای خیز باشد. در باعث تغییر وضعیت جریان

20

$$q_1 = \frac{90}{30} = 3 \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \quad q_1 = V_1 y_1 \quad V_1 = \frac{3}{2.5} = 1.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (\text{نود و دو درصد})$$

$$E_{s1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 2.5 + \frac{1.2^2}{2 \times 9.806} = 2.573 \text{ m}$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{1.2}{\sqrt{9.806 \times 2.5}} = 0.24 < 1 \rightarrow \text{زیر بحرانی}$$

25

(آهن رژیم جریان در بالارت)

$$E_{s1} = E_{c2} \rightarrow E_{c2} = 2.573 = \frac{3}{2} y_{c2} \rightarrow y_{c2} = 1.71 \text{ m}$$

$$y_{c2} = \sqrt[3]{\frac{q_2^2}{g}} \rightarrow q_2 = \sqrt{y_{c2}^3 \cdot g} = \sqrt{1.71^3 \cdot 9.806} = 7 \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

$$5 \rightarrow b_2 = \frac{Q}{q_2} = \frac{90}{7} = 12.85 \text{ m}$$

$$\text{حداکثر میزان پیش آمدن} = b_1 - b_2 = 30 - 12.85 = 17.15 \text{ m}$$

تقریباً جریان آبی با دبی $16 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ و عمق 2 m در یک کانال مستطیل به عرض 4 m برقرار است. در مقطع
10 از کانال عرض مقطع به 3.5 m کاهش یافته و نیز کف کانال در همین محل به اندازه ΔZ برآمدگی دارد. تغییرات سطح آب را در این مقطع در دو حالت زیر بیابید:

$$\Delta Z = 1.2 \text{ m} \quad (\text{الف})$$

ب) $\Delta Z = 1.35 \text{ m}$ در این حالت $E_{s1} < E_{s2 \text{ min}}$ بنابراین وضعیت این جریان پیش آمده و در نتیجه در دو مقطع (الف) و (ب) نسبت شده و تحت این به مثابه ای افزایش پیدا خواهد کرد که عبور جریان با $E_{s2 \text{ min}}$ از مقطع تبدیل ممکن گردد.

15 * محاسبات عمق بحرانی: در این قسمت برخی از ویژگی های جریان بحرانی بیان خواهد شد.
بطور کلی می توان بیان نمود که در مقطع بحرانی شرایط زیر حاکم است:

- 1- عدد فروود جریان برابر یک است. $F_r = 1$
- 2- به ازای یک دبی ثابت انرژی مخصوص $\min$ است.
- 3- به ازای یک انرژی مخصوص ثابت دبی عبوری $\max$ است.
- 20 4- به ازای یک دبی ثابت، نیروی مخصوص $\min$ است.
- 5- به ازای یک نیروی مخصوص ثابت دبی عبوری $\max$ است.

باتوجه به آنکه عدد فرود جریان $Fr=1$ (برای جریان بحرانی) برابر یکدست می توان معادله مشخصی حاکم بر جریان بحرانی در هر کانال را به صورت زیر بدست آورد.

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

5

$$Fr=1 \rightarrow \frac{V}{\sqrt{gD}} = 1 \rightarrow V = \sqrt{gD} \rightarrow V^2 = gD \rightarrow \frac{V^2}{g} = \frac{A}{T}$$

معادله ای اساسی حاکم بر جریان بحرانی

$$Q = V \cdot A, V = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{Q^2}{gA^2} = \frac{A}{T} \xrightarrow{\times A^2} \boxed{\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}}$$

10

فاکتور سطح برای
محاسبه ی عمق بحرانی

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

* در جریان بحرانی

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

بصورت

$$Fr=1 \rightarrow V^2 = gD \rightarrow \frac{V^2}{2g} = \frac{D}{2}$$

15

$$E_s = y + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \boxed{E_c = E_{smin} = y_c + \frac{1}{2} D}$$

① کانال مستطبی:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{b^3 y_c^3}{b}$$

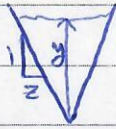
20

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

$$E_{smin} = E_c = y_c + \frac{1}{2} D = y_c + \frac{1}{2} y_c = \underline{\underline{\frac{3}{2} y_c}}$$

25

(2) مقطع مثلثی :



$$T = 2zy$$

$$A = zy^2$$

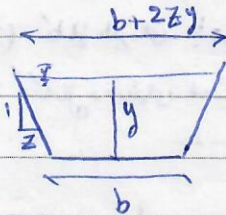
$$D = \frac{A}{T} = \frac{zy^2}{2zy} = \frac{y}{2}$$

$$5 \quad \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{z^3 y^3}{2zy} \rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{z^2 y^5}{2}$$

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

$$E_c = y_c + \frac{1}{2} D_c \rightarrow E_c = y_c + \frac{1}{2} \frac{y}{2} \rightarrow E_c = \frac{5}{4} y_c$$

10



$$Z^* = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

فاکتور سطح برای محاسبه
نقطه بحرانی

(3) مقطع ذوزنقه ای :

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow \frac{Q}{\sqrt{g}} = \frac{A^3}{\sqrt{T}} = A\sqrt{\frac{A}{T}} = A\sqrt{D}$$

15

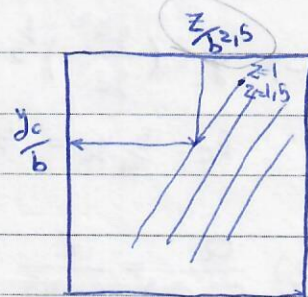
$$A = y(b + zy)$$

$$T = b + 2zy$$

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = Z \rightarrow \frac{Q}{\sqrt{g} b^{2.5}} = \frac{Z}{b^{2.5}}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{y(b + zy)}{b + 2zy}$$

20



25

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{d_0} \right)$$

$$Z = \frac{\sqrt{2}}{32} \frac{(\theta - \sin \theta)^{1.5}}{(\sin \frac{\theta}{2})^{1.5}}$$



$$\frac{Q}{\sqrt{g} b^{2.5}} = \frac{Z}{d^{2.5}}$$

5

مثال: آب باری 5 $\frac{m^3}{sec}$ در کانالهای فرضی زیر جاری است. برای هر کانال، عمق جریان و انرژی مخصوص متناهی را محاسبه کنید.

الف) کانال مستطیلی با عرض $b = 2m$

ب) کانال مثلثی با شیب جانبی $Z = 1.5m$

ج) کانال دایره‌ای با قطر $2m$

د) کانال دوزشکای با شیب جانبی $Z = 1.5$ و عرض کف $b = 2m$ و ضریب اصلاح انرژی $\alpha = 1.2$

الف) $Q = 5 \frac{m^3}{sec}$ $q = \frac{Q}{b} = 2.5 \frac{m^2}{sec}$

$b = 2m$ $y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{2.5^2}{9.806}} = 0.86m$

15

$E_c = y_c + \frac{1}{2} D_c = \frac{3}{2} \times 0.86 = 1.29m$

ب) $y_c = \left(\frac{2Q^2}{gZ^2} \right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{2 \times 5^2}{9.806 \times 1.5^2} \right)^{\frac{1}{5}} = 1.828m$

$E_c = \frac{5}{4} y_c = \frac{5}{4} \times 1.828 = 2.284m$

20

ج) $\frac{Q}{\sqrt{g} d_0^{2.5}} = \frac{Z}{d_0^{2.5}} \rightarrow \frac{Z}{d_0^{2.5}} = \frac{5}{\sqrt{9.806} \times 2^{2.5}} = 0.128 \rightarrow \frac{y_c}{d_0} = 0.154 \rightarrow y_c = 0.308m$

$D_c = \frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right) d_0 = \frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right) d_0 = \frac{1}{8} \left(\frac{3.302 - \sin 3.302}{\sin \frac{3.302}{2}} \right) \times 2 = 1.868m$

25

$\theta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{d_0} \right) = 2 \cos^{-1} \left(1 - 2 \times 0.154 \right) = 3.302 rad$

$E_c = y_c + \frac{1}{2} D_c = 0.308 + \frac{1}{2} \times 1.868 = 1.254m$

$$1) \frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{A^3 \cos \theta}{T} \rightarrow \frac{\sqrt{\alpha} Q}{\sqrt{g} b^{2.5}} = \frac{\frac{\alpha Q^2}{g}}{b^{2.5}} = \frac{\sqrt{1.2 \times 5}}{\sqrt{9.806 \times 2^{2.5}}} = 0.307$$

$$\text{کراف} \rightarrow \frac{y_c}{b} = 0.38 \rightarrow y_c = 0.38 \times 2 = 0.76 \text{ m}$$

$$D_c = \frac{A}{T} = \frac{0.76(2 + 1.5 \times 0.76)}{2 + 2 \times 1.5 \times 0.76} = 0.558 \text{ m} \quad E_c = y_c + \frac{1}{2} D_c = 0.76 + \frac{1}{2} \times 0.558 = 1.04 \text{ m}$$

مثال: در یک کانال دوزقی ای به عرض کف 2m و شیب جدارهای 1-1 طبق بحرانی و نیز مکسیم دبی عبوری را برای ارزش مخصوص معادل 1.5m محاسبه کنید.

$$E_s = E_c = y_c + \frac{1}{2} D_c = y_c + \frac{1}{2} \frac{y_c(b + 2y_c)}{b + 2y_c}$$

$$\rightarrow 1.5 = y_c + \frac{1}{2} \times \frac{y_c \times (2 + y_c)}{2 + 2y_c} \Rightarrow y_c = 1.095 \text{ m} \quad D_c = 0.8$$

$$\left(\frac{V_c^2}{2g} = \frac{1}{2} D_c \right) \rightarrow V_c = \sqrt{D_c \times g} = 2.82 \quad E_{min} = y_c + \frac{1}{2} D_c = y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

$$Q = V_c \cdot A_c = \frac{2.82 \times 1.095 \times (2 + 1.095)}{1} = 9.505 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

مثال: آب در یک کانال دوزقی ای به عرض کف 5m و شیب جدارهای 1-1 با عمق 1.5m و سرعت 1.5m/sec جریان دارد.

الف) حداقل ارتفاع برآمدگی در یک کانال را برای رسیدن به عمق بحرانی محاسبه کنید.

ب) در صورتی که ارتفاع برآمدگی نصف حالت الف باشد عمق جریان روی برآمدگی را تعیین کنید.

$$A = y(b + 2zy) = 1.5(5 + 1.5) = 9.75 \text{ m}^2$$

$$T = b + 2zy = 5 + 2 \times 1.5 = 8 \text{ m}$$

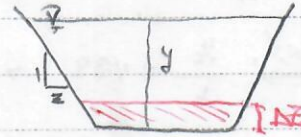
$$D = \frac{A}{T} = \frac{y(b + 2zy)}{b + 2zy} = \frac{9.75}{8} = 1.22 \text{ m}$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}} = \frac{1}{\sqrt{9.806 \times 1.22}} = 0.29 < 1$$

جریان زیر بحرانی

$$E_{S1} = E_{S2} + \Delta Z \rightarrow E_{S1} = E_{C2} + \Delta Z_{\max} \rightarrow \Delta Z_{\max} = E_{S1} - E_{C2}$$

$$E_{S1} = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = 1.5 + \frac{1}{2 \times 9.806} = 1.551 \text{ m}$$



$$\textcircled{1} \rightarrow \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot b^{2.5}} = \frac{Z}{b^{2.5}} \rightarrow \frac{Z}{b^{2.5}} = \frac{9.76}{\sqrt{9.806} \times 5^{2.5}} = 0.056 \text{ m} \xrightarrow{\text{گراف}} \frac{y_c}{b} = 0.135$$

$$\rightarrow y_c = 0.135 \times 5 = 0.675 \text{ m}$$

$$D_c = \frac{A}{T} = \frac{0.675(5 + 0.675)}{5 + 2 \times 0.675} = 0.603 \text{ m}$$

$$E_{C2} = y_c + \frac{1}{2} D_c = 0.675 + \frac{1}{2} \times 0.603 = 0.977 \text{ m}$$

$$\Delta Z_{\max} = E_{S1} - E_{C2} = 1.551 - 0.977 = 0.574 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \rightarrow b_2 = b_1 + 2 \Delta Z_{\max \textcircled{1}} = 5 + 2 \times (0.574) = 6.14 \text{ m}$$

$$\rightarrow \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot b^{2.5}} = \frac{Z}{b^{2.5}} = 0.0332 \xrightarrow{\text{گراف}} y_c = 0.615 \text{ m}$$

$$P_c = 0.564 \text{ m} \rightarrow E_c = 0.9 \text{ m} \rightarrow \Delta Z_{\max \textcircled{2}} = 0.654 \text{ m} \quad \Delta Z_{\max \textcircled{2}} - \Delta Z_{\max \textcircled{1}} \approx 0.1$$

$$\textcircled{3} \rightarrow b_3 = b_1 + 2 \Delta Z_{\max \textcircled{2}} = 6.308 \text{ m} \rightarrow \frac{Z}{b^{2.5}} = 0.099 \xrightarrow{\text{گراف}} y_c = 0.624 \text{ m}$$

$$\rightarrow D_c = 0.573 \text{ m}, \quad E_c = 0.91 \text{ m} \rightarrow \Delta Z_{\max \textcircled{3}} = 0.64$$

$$\Delta Z_{\max \textcircled{3}} - \Delta Z_{\max \textcircled{2}} \approx 0.01 \text{ m OK}$$

$$y_c = 0.624 \text{ m} \quad \text{Ans}$$

$$\Delta Z_{\max} = 0.64 \text{ m}$$

✓)

$$\Delta Z_{\max} = 1.64 \text{ m}$$

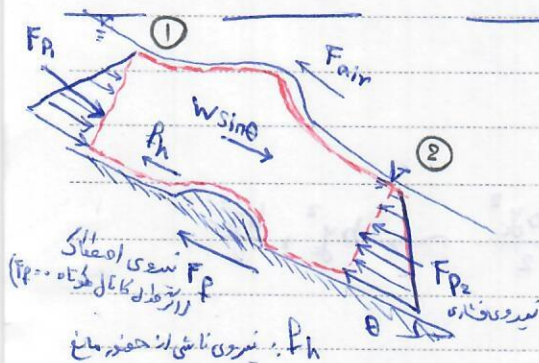
$$\Delta Z = 0.5 \Delta Z_{\max} = 0.5 \times 1.64 = 0.82 \text{ m}$$

$$E_{s1} = E_{s2} + \Delta Z \rightarrow E_{s2} = E_{s1} - \Delta Z = 1.551 - 0.82 = 0.731 \text{ m}$$

$$E_{s2} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^3} \Rightarrow 0.731 = y_2 + \frac{9.75^2}{2 \times 9.806 \times [y_2(5.64 + y_2)]^2}$$

$$A = y(b + zy)$$

$$b' = b + 2z \Delta Z \quad \left\{ \begin{array}{l} b_2 = 5 + 2 \times 1 \times 0.82 = 6.64 \text{ m} \\ \Delta Z = 0.82 \end{array} \right.$$



* اصل انرژی حرکت در کانال های باز

$$\Sigma F = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1)$$

$$F_{p1} - F_{p2} - F_h - F_f - F_{\text{air}} + W \sin \theta = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1)$$

$$F_{\text{ext}} = W \sin \theta - F_f - F_h$$

$$\rightarrow F_{p1} - F_{p2} + F_{\text{ext}} = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \quad \left\{ \begin{array}{l} F_{p1} = \gamma \bar{d}_1 \cos \theta \cdot A_1 \\ F_{p2} = \gamma \bar{d}_2 \cos \theta \cdot A_2 \end{array} \right.$$

$$\rightarrow \gamma \cos \theta (\bar{d}_1 A_1 - \bar{d}_2 A_2) + F_{\text{ext}} = \rho Q (\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1)$$

$$F_{\text{ext}} = \rho Q (\beta_2 v_2) + \gamma \cos \theta \bar{d}_2 A_2 - \rho Q (\beta_1 v_1) = \gamma \cos \theta \bar{d}_1 A_1$$

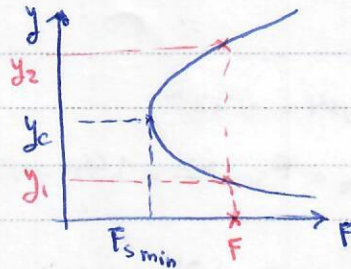
$$\frac{F_{\text{ext}}}{\gamma} = \frac{\beta_2 Q^2}{g A_2^3} + \bar{d}_2 \cos \theta A_2 - \frac{\beta_1 Q^2}{g A_1^3} - \bar{d}_1 \cos \theta A_1$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 1 \quad \cos \theta = 1 \rightarrow \bar{d}_1 = \bar{d}_2$$

$$\rightarrow \frac{F_{\text{ext}}}{\gamma} = \left(\frac{Q^2}{g A_2^3} + \bar{d}_2 A_2 \right) - \left(\frac{Q^2}{g A_1^3} + \bar{d}_1 A_1 \right)$$

$$F_s = \frac{Q^2}{g A} + \gamma A \quad , \quad \frac{F_{\text{ext}}}{\gamma} = F_{s2} - F_{s1}$$

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



* منحنی نیروی مخصوص و اعماق مزدوج

+ y_1 و y_2 اعماق مزدوج هستند.

برای متغیر y به عنوان متغیر $F = F(y)$ ، $F = \frac{Q^2}{gby} + \frac{by^2}{2}$

$$\frac{dF}{dy} = 0 \rightarrow \frac{dF}{dy} = \frac{Q^2}{gb} \left(-\frac{1}{y^2}\right) + by = 0 \xrightarrow{\times y^2} y^3 = \frac{Q^2}{gb^2}$$

$$\rightarrow y^3 = \frac{Q^2}{gb^2} \rightarrow y = y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

$$F = \frac{Q^2}{gby^2} + \frac{y_c^2}{2} \times b \xrightarrow{\times b \div b} F = \frac{by_c^2}{g} + \frac{by_c^2}{2} \rightarrow by_c^2 + \frac{by_c^2}{2}$$

$$\rightarrow F_c = \frac{3}{2} by_c^2$$

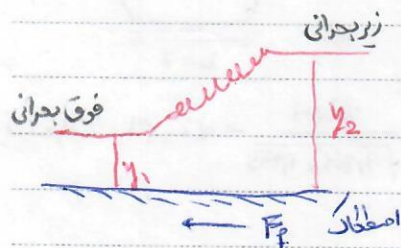
+ توضیح: با توجه به معادله نیروی مخصوص و اینکه مقادیر γA و ضریب مقدار A ثابتی از عمق جریان هستند، لذا مقدار نیروی مخصوص نیز ثابتی از عمق بوده و می‌توان به ازای یک عمق مشخص مقدار نیروی مخصوص بر حسب عمق را تعیین کرد. از منحنی نیروی مخصوص بر حسب عمق نتایج زیر حاصل می‌شود:

- 1- مقدار نیروی مخصوص همیشه در عمقی حاصل می‌شود که همان عمق بحرانی است.
- 2- به ازای هر نیروی مخصوص ثابت دو عمق از جریان مشخص می‌شود. این دو عمق که یکی از آن‌ها وضعیت جریان خروار بحرانی و دیگری وضعیت جریان زیر بحرانی را نشان می‌دهد اعماق مزدوج نامیده می‌شوند.

برای یک کانال مستقیم می توان محاسبات درایه های صفحه قبل را برای نیروی مخصوص بحرانی در نظر گرفت.

* **پدیده ی پرش هیدروکلی:** (پرش هیدروکلی کانال های ناشیلم) پرش هیدروکلی پدیده ای است که

در آن جریان از حالت فوق بحرانی به صورت آبی به حالت زیر بحرانی تبدیل می شود. این پدیده در مواردی مانند عبور جریان از زیر دریاچه ها، تغییر شیب کف کانال و یا وجود انسداد در کانال به وجود می آید. با توجه به اینکه پرش هیدروکلی یک پدیده ی موضعی است و در طول کوتاهی از مسیر صورت می گیرد، لذا می توان از مقدار نیروی اصطفاک صرف نظر کرد. همچنین با توجه به شیب کم کف کانال می توان از طولی وزن در راستای جریان صرف نظر نمود. لذا در این حالت به این شیب می ریم که در یک پرش هیدروکلی نیروی مخصوص ثابت باقی می ماند و بنابراین یکی های اولیه و ثانویه یک پرش هیدروکلی احماق مزدوج ششاضر با یک نیروی مخصوص ثابت باشند.



* توضیح: در صورتیکه برآید نیروهای خارجی اعمال شده بر روی حجم کنترل استاتی از جریان صفر باشد این شیب حاصل خواهد شد که در جریان آب از سطح آب سمت مقدار نیروی مخصوص تغییر نخواهد کرد.

$$\Delta E_j = E_1 - E_2 = \left(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

F_f صرف نظر
 $W \sin \theta$ صرف نظر
 $F_h = 0$

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = \frac{W \sin \theta - F_f - F_h}{\gamma} = 0$$

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = F_2 - F_1 = 0$$

$$\rightarrow F_1 = F_2$$

نیروی مخصوص ثابت

برای مقاطع مستقیم

$$\begin{cases} y_2 = \frac{y_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 F_{r1}^2} - 1 \right], & y_1 = \frac{y_2}{2} \left(\sqrt{1 + 8 F_{r2}^2} - 1 \right) \\ \Delta E_j = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2} \end{cases}$$

ازای از دست رفته برای پرش

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1) \rightarrow y_2 = \frac{-y_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_1}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{gy_1}}$$

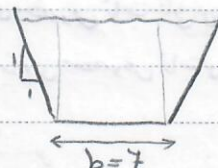
$$y_1 = \frac{y_2}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1) \rightarrow y_1 = \frac{-y_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_2}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{gy_2}}$$

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

مثال: آب بادی $10 \frac{m^3}{sec}$ در یک کانال دفرته ای به عرض $7m$ و شیب جواره های ۱-۱ جاری است. اگر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در این کانال $1.5m$ باشد، عمق اولیه پرش هیدرولیکی چقدر بوده و نیز افت انرژی در طول پرش را مطابق بنماید.

$$A_2 = y_2 (b + zy_2) = 1.5 (7 + 1.5) = 12.75 m^2$$

$$Q = V_2 A_2 \rightarrow V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{10}{12.75} = 0.784 \frac{m}{s}$$



$$T_2 = b + 2zy_2 = 7 + 2 \times 1.5 = 10$$

$$D_2 = \frac{A_2}{T_2} = \frac{12.75}{10} = 1.275 \rightarrow Fr_2 = \frac{V_2}{\sqrt{gD_2}} = \frac{0.784}{\sqrt{9.806 \times 1.275}} = 0.22 < 1 \text{ زیر بحرانی}$$

$$F_1 = F_2$$

$$\frac{100}{9.806 \times [y_1 (7 + y_1)]} + \frac{7}{2} y_1^2 + \frac{y_1^3}{3} = \frac{100}{9.806 \times 12.75} + \frac{7 \times 1.5^2}{2} + \frac{1.5^3}{3}$$

$$\bar{y}A = \frac{by^2}{2} + 2 \frac{zy^2}{2} \times \frac{y}{3} = \frac{by^2}{2} + \frac{zy^3}{3} \rightarrow y_1 = 0.146m$$

$$\Delta E_j = E_1 - E_2 = \left(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right) = \left(0.146 + \frac{9.58^2}{2 \times 9.806} \right) - \left(1.5 + \frac{0.784^2}{2 \times 9.806} \right)$$

$$\Delta E_j = 3.13m$$

$$A_1 = 0.146 (7 + 0.146) = 1.043 m^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{10}{1.043} = 9.58 \frac{m}{s}$$

+ برای حل معادله از سعی و خطا استفاده می کنیم

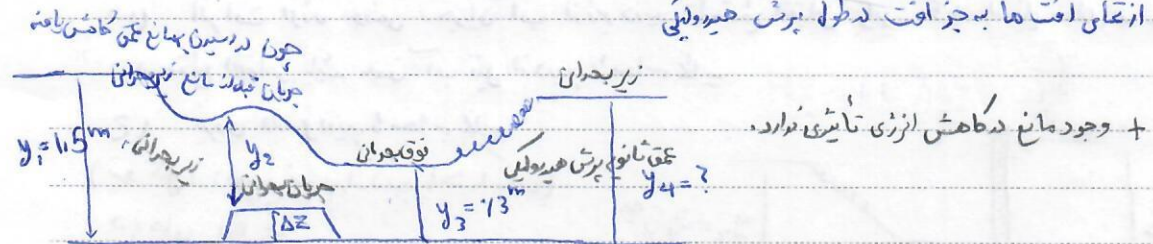
برای تسریع در به دست آوردن جواب می توان فرض کرد که

کانال مستطیلی شکل است و از روابط بالای

صفت، تصحیح از جواب به دست آورده و آنرا در معادله امتحان

می کنیم و سریع تر به جواب مورد نظر می رسید.

مثال: در مستطی از آب کانال مستطیل جریان مطابق شکل وجود دارد. معلوم است مقدار y_2 و y_4 را بر حسب y_1 و y_3 و ارتفاعی است که با برخورد در طول پرش هیدرولیکی



$$E_1 = E_3 \rightarrow y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_3 + \frac{q^2}{2gy_3^2} \rightarrow 1.5 + \frac{q^2}{2 \times 9.806 \times 1.5^2} = 1.3 + \frac{q^2}{2 \times 9.806 \times 1.3^2}$$

$$\rightarrow q = 1.486 \frac{m^2}{sec} \rightarrow y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1.486^2}{9.806}} = 0.608 m \rightarrow y_2 = y_c = 0.608 m$$

$$E_2 = E_c = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \times 0.608 = 0.912 m$$

$$E_1 = E_2 + \Delta z \rightarrow 1.5 + \frac{1.486^2}{2 \times 9.806 \times 1.5^2} = 0.912 + \Delta z \rightarrow \Delta z = 0.638$$

$$y_4 = \frac{-y_3}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_3}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{gy_3}} = 1.084 m$$

و با توجه به شکل چون عمق بالاسر مانع کاهش پیراموده نسبت به y_1 پس می فهمیم که جریان زیر بحرانی است. همچنین چون در y_3 پرش هیدرولیکی رخ داده است و با توجه به تعریف پرش جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی می رود پس عمق y_4 فوق بحرانی است. پس می فهمیم y_4 عمق بحرانی است.

مثال: در سیرک کانال مستطیل به عرض $5 m$ که در آن آب با دبی $Q = 20 \frac{m^3}{sec}$ جریان دارد. یک دریچه کشویی به گونه ای قرار گرفته که فاصله ای آن از کف کانال $0.57 m$ می باشد. چنانچه عمق جریان در مقابل انتقانی برابر $1.4 m$ باشد و جریان در قسمت پایین دست دریچه یکپارچه و با عمق معادل $2.5 m$ عرض گردد. مقادیر زیر را محاسبه نمایید.

الف) افت انرژی در طول پرش هیدرولیکی

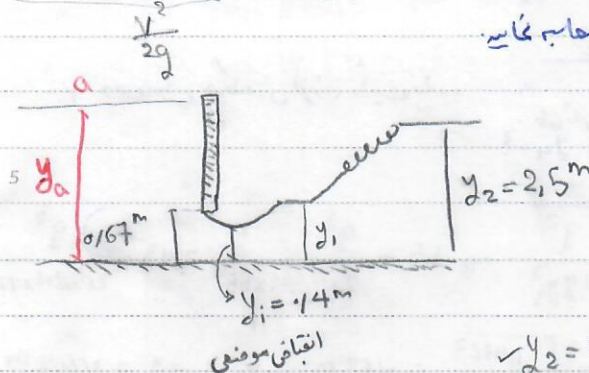
ب) اگر افت انرژی موثری در جریان آب از زیر دریاچه تا مقطع انتقاض برابر ۰.۱۰۵ ارتفاع معادل هدریت

در مقطع انتقاض باشد عمق آب قبل از دریاچه را محاسبه کنید

ج) نیروی وارد بر دریاچه را محاسبه کنید

(نیرو قبل از دریاچه و نیرو بعد از دریاچه را حساب کنید)

و ب جای F_{ext} بگذارید



$$q = \frac{Q}{b} = \frac{20}{5} = 4 \frac{m^2}{sec}$$

$$y_2 = 2.5 m$$

$$y_1 = \frac{-y_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_2}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{gy_2}}$$

$$y_1 = \frac{-2.5}{2} + \sqrt{\left(\frac{2.5}{2}\right)^2 + \frac{2 \times 4^2}{9.806 \times 2.5}} = 0.443 m$$

$$\Delta E_j = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} = \frac{(2.5 - 0.443)^3}{4 \times 2.5 \times 0.443} = 1.97, \quad V_i = \frac{Q}{y_i \times 5} = \frac{20}{0.4 \times 5} = 10$$

$$E_a = E_i + \Delta E_{a-i} \rightarrow y_a + \frac{q^2}{2gy_a^2} = y_i + \left(1 + 0.105 \frac{V_i^2}{2g}\right)$$

$$\rightarrow y_a + \frac{16}{2 \times 9.806 \times y_a^2} = 0.4 + 1.05 \times \frac{10^2}{2 \times 9.806}$$

$$\rightarrow y_a = 5.73 m$$

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = F_1 - F_2 \rightarrow F_g = \gamma(F_1 - F_2) = \gamma \times \left[\frac{Q^2}{gA_a} + \bar{y}_a A_a - \frac{Q^2}{gA_i} + \bar{y}_i A_i \right]$$

$$F_g = 615032 N$$

$$A_a = y_a \times b +$$

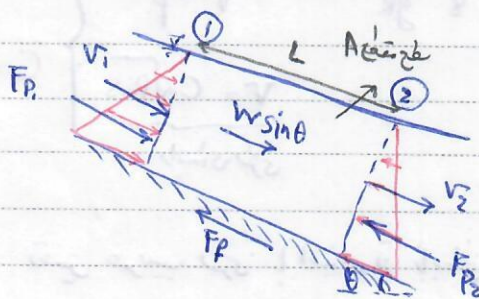
$$\bar{y}_a A_a = \frac{y_a}{2} \times y_a \times b$$

* فصل چهارم: **جریان کینواخت در کانال های باز:** چنانچه جریان دانه آب از یک نیای به داخل یک کانال باشد، اگر چه در برو ورود آب به داخل کانال ذات آب دارای شتاب جانبی باشد، شتاب در جهت و سطح آب دارای انحنای تدریجی باشد ولی جریان پس از طی مسافتی در کانال به سمت سرعت میل نماید و در این نقطه تعادل دینامیکی ذات آب دیگر شتابی نخواهد داشت. لذا می توان در این شرایط روابط زیر را حکم داشت:

$$\sum F = 0$$

$$\frac{dy}{dx} = 0, \quad \frac{dv}{dx} = 0, \quad \frac{dp}{dx} = 0$$

با توجه به ثابت بودن خصوصیات فوق در طول زمان، جریان منوکرومیک جریان کینواخت دانه خواهد بود. که بدلیل آنکه جریان کینواخت غیر دانه عملاً وجود ندارد، جریان کینواخت دانه به احتمال جریان کینواخت فاسیده می شود. باید در نظر داشت که با توجه به ماهیت جریان کینواخت، رسیدن به تعادل دینامیکی و سرعت و در نتیجه برقراری جریان کینواخت مستلزم طولانی بودن، مشوری بودن و عدم وجود مانع در مسیر جریان است. و ضمناً برقراری جریان کینواخت در کانال های افقی، با شیب صفر و یا کانال های با شیب منفی امکان ندارد.



+ سرعت متوسط در جریان های کینواخت:

$$F_{p1} - F_{p2} + W \sin \theta - F_f = \rho Q (V_2 - V_1) \rightarrow W \sin \theta = F_f$$

$$\gamma \times A \times L \times \sin \theta = F_f = \tau_o \times P \times L \rightarrow \gamma \times A \times L \times S_o = \tau_o \times P \times L$$

$$\tau_o = \gamma \times \left(\frac{A}{P} \right) \times S_o$$

$$\tau_o = K \rho v^2$$

$$\rightarrow K \rho v^2 = \gamma R S_o \rightarrow v^2 = \frac{\gamma R S_o}{PK}$$

$$\text{ARMAN} \rightarrow V = \sqrt{\frac{g R S_o}{K}}$$

$$\tau_o = K \rho v^2 \quad \sqrt{\frac{g}{K}} = C \quad \text{شرطی}$$

$$V = C \sqrt{R S_o} \quad \text{رابطه شری}$$

رابطه مانینگ $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$, $V = C \sqrt{R \cdot S}$

فریب مانینگ $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ $\rightarrow$ $\left. \begin{array}{l} V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \\ Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \end{array} \right\}$ $V = \frac{1.486}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$
 رابطه استفاده از سیستم انگلیسی $(\text{ft}, \text{in}, \text{ft})$

$V = C \sqrt{R \cdot S}$

+ برای تعیین ضریب C در رابطه شری، دانشمندان مختلف روابطی را ارائه داده اند.

1- محاسبه ضریب شری با استفاده از رابطه دارسی - ویسباخ:

$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$

$\frac{1}{2} S \cdot \frac{h_f}{L} = f \cdot \frac{1}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \rightarrow S = \frac{1}{8} \frac{V^2}{gR} \rightarrow V = \sqrt{\frac{8gRS}{f}}$
 $V = C \sqrt{R \cdot S}$ $C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$
 شعاع هیدرولیک $D = 4R$ و مقادیر
 رابطه شری

2- تعیین ضریب شری با استفاده از رابطه Bazin:

$C = \frac{87}{1 + \frac{K}{\sqrt{R}}}$

لا: ضریب هیدرولیک کانال از جدول تعیین می شود

3- تعیین ضریب زلزلی با استفاده از رابطه ی کاتر :

$$C = \frac{[23 + \frac{0.00155}{S}] + \frac{1}{n}}{1 + [23 + \frac{0.00155}{S}] \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

ضریب ماند

5 * عوامل مؤثر بر ضریب زلزلی ماندگ : این ضریب در تمامی شرایط مقدار ثابت ندارد و تفاوت مهندسی در تعیین این ضریب نقش مهمی دارد. عوامل زیر در تعیین این ضریب زلزلی اثر گذار هستند:

1- زلزلی بهتر کانال که به عنوان بهترین عامل در تعیین ضریب ماندگ بوده و هر قدر اندازه ی ذرات جواهر بزرگتر باشد، ضریب n نیز افزایش می یابد.

2- پوشش گیاهی : پوشش گیاهی از یک طرف به عنوان زلزلی جواهر محسوب می شود و از طرف دیگر موجب کاهش ضریب عبور دهنی مقطع می گردد و اثرات آن بستگی به ارتفاع - جنس - تراکم و نحوه ی توزیع آن دارد.

3- بی ثباتی در سطح مقطع کانال : چنانچه بی ثباتی در شکل و اندازه ی سطح مقطع کانال در طول کوتاهی و با شیب زیادی وجود داشته باشد موجب افزایش ضریب n می گردد.

4- انحنا در افتداد کانال : کانال که انحنای بیشتری دارد ضریب زلزلی بزرگتری خواهد داشت.

5- تم نشینی و فرسایش : این دو پدیده چنانچه موجب افزایش بی ثباتی در سطح مقطع کانال گردد موجب افزایش ضریب n خواهند بود.

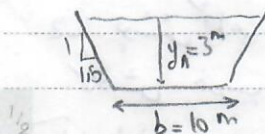
6- تفسیرات خطی : در فصل رشر و نمو گیاهان ضریب n افزایش می یابد.

7- مواد صلب و پلاستیک : در اثر وجود این دو عامل چه در حال حرکت باشند و چه در حالت سکون مقاومت در برابر جریان و در نتیجه ضریب n افزایش می یابد.

* **مقایسه فرمول شری و مانینگ :** ضریب مقاومت در فرمول شری (۴) با مقاومت در برابر جریان نسبت عکس دارند در حالی که n در فرمول مانینگ با مقاومت نسبت مستقیم دارد. مقادیر ضریب شری در مقایسه با n مانینگ بسیار زیاد است پس در استفاده از فرمول مانینگ یابیت بسیار دقت کرد و در تبیین انتخاب n دلایل حساسیت بیشتری نسبت به C است. ضریب n در فرمول مانینگ از یک سیستم به سیستم دیگر ثابت است در حالی که ضریب C در سیستم دستگاه های مختلف متفاوت است.

- مثال: آب با دمای 20°C و عمق زمان 3^m (عمق جریان یکنواخت) در یک کانال زرد رسی از جنس بتن صاف با ضریب $n = 0.012$ با عرض کف 10^m و شیب جواره ای به شکل لایب طول $3:1$ جاری است. مطلوبست تبیین **دبی جریان** در حالت های زیر:

الف) ضریب شری از شباه فرمول شری با فرمول دارسی بدست آورده شود
ب) ضریب شری از فرمول کولتر



ج) ضریب شری از فرمول Bazin $(V = 1 \times 10^{-6} \frac{m^2}{sec})$
د) از فرمول مانینگ

$$A = y(b + zy) = 3(10 + 1.5 \times 3) = 43.5 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} = 10 + 2 \times 3\sqrt{1+1.5^2} = 20.82 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{43.5}{20.82} = 2.09$$

$$S = 0.003 \text{ شیب}, \quad n = 0.012$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \text{ (انف)}, \quad \frac{\varepsilon}{D} \left. \begin{array}{l} \text{دیاگرام بودی} \\ \text{Re} = \frac{VD}{\nu} \end{array} \right\} f$$

$$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-4} \text{ برای سطح بتن صاف}, \quad \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1.5 \times 10^{-4}}{2.09} = 7.18 \times 10^{-5}$$

باتوجه به راف منجم ۱۵۹ کتاب $C \approx 90$ فرض اولی

$$V = C \sqrt{R \cdot S} = 90 \times \sqrt{2,09 \times 0,0003} = 2,25 \frac{m}{s}$$

$$\frac{S}{R} = 7,18 \times 10^{-5} < 0,0001 \text{ طول موجات}$$

$$Re = \frac{4VR}{\nu} = \frac{4 \times 2,25 \times 2,09}{1 \times 10^{-6}} = 1,88 \times 10^7 \quad \left. \begin{array}{l} \text{سرکف} \\ \rightarrow C = 94 \end{array} \right\}$$

$$V = C \sqrt{R \cdot S} = 94 \times \sqrt{2,09 \times 0,0003} = 2,35 \frac{m}{s}$$

$$ب) \quad C = \frac{[23 + \frac{0,00155}{S}] + \frac{1}{n}}{1 + [23 + \frac{0,00155}{S}] \frac{n}{\sqrt{R}}} = 90,37$$

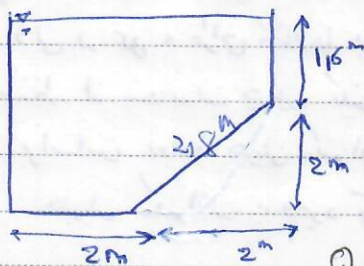
$$V = 90,37 \sqrt{2,09 \times 0,0003} = 2,26 \quad Q = VA = 2,26 \times 43,5 = 98,14 \frac{m^3}{sec}$$

$$ج) \quad C = \frac{87}{1 + \frac{S}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \frac{0,12}{\sqrt{2,09}}} = 80,33 \quad V = 80,33 \sqrt{2,09 \times 0,0003} = 2,01 \frac{m}{s}$$

$$S = 0,12 \text{ براس جدول}$$

$$د) \quad V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \Rightarrow Q = \frac{1}{0,12} \times 43,5 \times (2,09)^{\frac{2}{3}} \times (0,0003)^{\frac{1}{2}} = 102,66 \frac{m^3}{sec}$$

در کانال بتنی به شکل زیر و با ضریب زبری $n = 0,013$ دبی $Q = 30 \frac{m^3}{sec}$ عبور می کند. شیب طولی کانال را بیابید.



$$A = (1,6 \times 4) + \frac{(4+2) \times 2}{2} = 12,4 m^2$$

$$P = 3,6 + 2 + 2,8 + 1,6 = 10 m$$

$$R = \frac{12,4}{10} = 1,24 m$$

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \Rightarrow S = \left(\frac{nQ}{AR^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0,00075$$

+ برای تعیین ضریب C در رابطه‌ی شری، دانشمندان مختلف روابطی را ارائه داده‌اند:

① محاسبه‌ی ضریب شری با استفاده از رابطه‌ی داری و سیماخ:

$$h_f = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \rightarrow S \left(\frac{h_f}{L} \right) = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \xrightarrow{D=4R} S = \frac{1}{8} \cdot \frac{v^2}{gR}$$

قطر لوله شعاع هیدرولیکی

شعاع هیدرولیکی $\rightarrow D = 4R$ قطر لوله

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} = \frac{D}{4}$$

$$V = \sqrt{\frac{8gRS}{f}} \rightarrow C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

سیستم متریک

② تعیین ضریب شری C با استفاده از رابطه‌ی Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{8}{\sqrt{R}}} \rightarrow \text{ضریب تجربی کانال}$$

③ تعیین ضریب شری از رابطه‌ی کاتر:

$$C = \frac{[23 + \frac{155}{S}] + \frac{1}{n}}{1 + [23 + \frac{155}{S}] \frac{n}{R}}$$

*** محاسبات جریان یکنواخت:** اگرچه برقراری جریان یکنواخت در کانال‌ها یک فرض ایده‌آل است ولی در عمل، طراحی کانال‌ها بر اساس روابط جریان یکنواخت صورت می‌گیرد.

منظور از محاسبات جریان یکنواخت، شناخت معلومات در یک مقطع و پیدا کردن پارامترهای مجهول بر اساس روابط جریان یکنواخت می‌باشد. به طور کلی انواع مسائلی که در مطالعات هیدرولیکی جریان یکنواخت به وجود می‌آیند، می‌تواند به 5 گروه زیر طبقه‌بندی شوند:

نویسه	معلومات	مجهولات
1	n, y, b, Z, S	Q
2	Q, y, b, Z, n	S
3	Q, y, b, Z, S	n
4	Q, b, Z, S, n	$y_n(y.)$
5	Q, y, S, n	$b \text{ or } Z$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

+ در صورتیکه در محاسبات جریان می‌توانست از فرمول ماینگ استفاده شود عبارت $AR^{\frac{2}{3}}$ به عنوان فاکتور سطح در محاسبه جریان یکپارچه تعریف می‌گردد. با توجه به تغییرات پیچیده این فاکتور بر حسب y ، عمق نرمال در فرمول ماینگ به صورت صریح محاسبه نمی‌گردد. در این حالت از روش‌های مختلفی مانند:

① روش آزمون و خطا

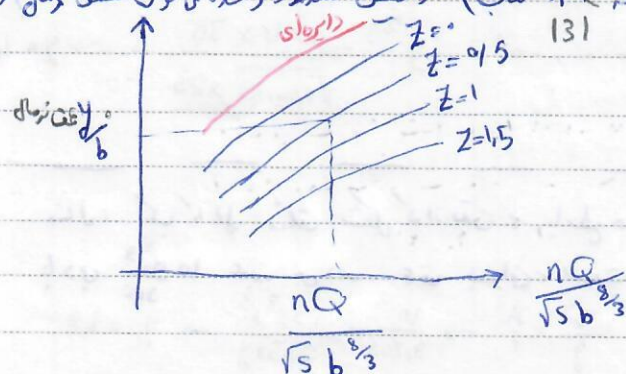
② استفاده از نمودارها یا جداول کمکی

③ روش تریسی

④ روش نیوتن - رابسون

برای محاسبه y عمق نرمال استفاده می‌شود.

در روش استفاده از نمودارها یا جداول کمکی، در صورتیکه فاکتور سطح در محاسبه جریان یکپارچه بر مقدار عرض کف به توان $\frac{2}{3}$ ($b^{\frac{2}{3}}$) تقسیم گردد، پارامتری به نام Z حاصل می‌گردد که تابعی از b و Z است. با استفاده از گراف‌های کمکی (نمودار صفحه ۱۴۴ کتاب) و تعیین مقدار Z می‌توان عمق نرمال را به راحتی محاسبه نمود.



$$+ \text{ برای دایره } \frac{y_n}{d} = \frac{nQ}{\sqrt{5} d^{\frac{8}{3}}}$$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \rightarrow AR^{\frac{2}{3}} = \frac{nQ}{\sqrt{5} b^{\frac{8}{3}}}$$

- مثال: یک کانال دوارته‌ای با عرض کف 5 m و شیب جزیره‌های $1:1$ دارای شیب طولی 0.0035 باشد. عمق ترسالی را برای دبی $20 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ و بازای $\eta = 0.15$ محاسبه کنید.

$$\frac{nQ}{\sqrt{s} b^{2/3}} = \frac{0.15 \times 20}{\sqrt{0.0035} \times 5^{2/3}} = 4.219$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{AR^{2/3}}{b^{2/3}} &= 4.219 \\ z &= 1.5 \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{y}{b} = 0.37$$

$y = 1.85 \text{ m}$

- مثال: کانال مستطبی شکلی با پهنای 20 m و ضریب مانع 0.16 برای دبی $30 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ طراحی شده است. اگر شیب کانال 0.0032 باشد، عمق ترسالی جریان را بیابید.

$$\frac{nQ}{\sqrt{s} b^{2/3}} = \frac{0.16 \times 30}{\sqrt{0.0032} \times 20^{2/3}} = 9.11$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{AR^{2/3}}{b^{2/3}} &= 9.11 \\ z &= 0 \end{aligned} \right.$$

$b = 20$
 $Q = 30$
 $S = 0.0032$
 $\eta = 0.16$

$$\frac{y}{b} = 0.6 \rightarrow y = 1.2 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} AR S^{1/2} \rightarrow AR = \frac{nQ}{\sqrt{s}}$$

$$A = by = 20y, \quad R = \frac{A}{P} = \frac{20y}{20 + 2y} = y$$

صرف نظر $y \gg 10$

$$20y \times y^{2/3} = 20y^{5/3} = \frac{nQ}{\sqrt{s}} \rightarrow y^{5/3} = \frac{0.16 \times 30}{\sqrt{0.0032} \times 20} \rightarrow y = 1.192 \text{ m}$$

- مثال: یکی کانال مثلثی شکل که از بتن، با سطح صاف ساخته شده است. ($n = 0.12$) جریانی

با دبی $10 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$ عمود من دعه، عمق بحرانی، سرعت بحرانی و شیب بحرانی در این کانال را بیابید.

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow \frac{10^2}{9.806} = \frac{(3y^2)^3}{2 \times 3 \times y} \rightarrow y_c = 1.8 \text{ m}$$



$$\begin{aligned} A &= zy^2 \\ T &= 2zy \\ P &= 2y\sqrt{1+z^2} \end{aligned}$$

$$Q_c = V_c A_c \rightarrow 10 = V_c \times 3 \times 1.8^2 \rightarrow V_c = 2.39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = \frac{1}{n} AR S^{1/2} \quad \text{یا} \quad V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

ARMAN

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

$$S_c = \left(\frac{nV_c}{R^{2/3}} \right)^2 = 0.18$$

در شکل شیب "راف" نداریم چون $\frac{b}{y}$ ندارد.

الف) تعیین شیب نرمال، اگر عمق نرمال 1.5^m و دبی $10 \frac{m^3}{s}$ در نظر گرفته شود.
ب) تعیین شیب بحرانی و عمق نرمال در صورتیکه دبی $10 \frac{m^3}{s}$ باشد.
ج) تعیین شیب بحرانی نرمال و مقدار دبی در صورتیکه عمق نرمال 1.5^m در نظر گرفته شود.

$y = 1.5^m, z = 2^m, b = 6^m, Q = 10 \frac{m^3}{sec}, n = 0.025$

$A = y(b + zy) = 1.5(6 + 2 \times 1.5) = 13.5$

عمق نرمال 1.5^m

$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} = 6 + 3\sqrt{5} = 12.71$

$R = \frac{A}{P} = 1.062$

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

$\frac{z}{b^{2/3}} = \frac{Q}{\sqrt{y} b^{2/3}} = \frac{10}{\sqrt{1.5} \times 6^{2/3}} = 0.36$

ب) چون شیب بحرانی از شیب قبلی کمتر است

پس جریان آرام تر ← زیر بحرانی

$\frac{z}{b^{2/3}} = 0.36 \rightarrow \frac{y_c}{b} = 1 \rightarrow y_c = 0.6^m$
 $z = 2$

$A = y(b + zy) = 0.6(6 + 2 \times 0.6) = 4.32^2$

$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} = 6 + 2 \times 0.6\sqrt{5} = 8.6^m$

$S_c = \left(\frac{nQ}{A_c R_c^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{0.025 \times 10}{4.32 \times 0.497^{2/3}} \right)^2 = 0.00846$

$\rightarrow R = 0.497$

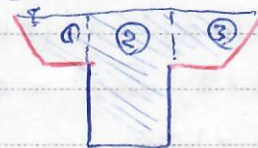
ج) میتوان با تنظیم شیب و دبی جریان، جریان کندتر را به ازای همان مشخصه برای ایجاد نمود که حالت جریان بحرانی باشد. چنین شیبی، شیب بحرانی نرمال (S_{cn}) نامیده می شود.

$y_0 = y_c = 1.5^m$

$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \rightarrow S_{cn} = \left(\frac{nQ}{A R^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{0.025 \times 44.85}{13.5 \times (1.062)^{2/3}} \right)^2 = 0.0063$

$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow Q = \sqrt{\frac{A^3 g}{T}} \rightarrow Q_2 = \sqrt{\frac{(1.5 \times (6 + 2 \times 1.5))^3 \times 9.806}{6 + 2 \times 1.5 \times \sqrt{1+2^2}}} = 44.85 \frac{m^3}{s}$

* زیری معادل : می دانیم که جنس پستری کانال نقش اساسی در تعیین مقدار ضریب زیری مانتینگ در کانال دارد. در عمل می توان کانال های داشت که ضریب زیری مانتینگ 9 به عبارتی جنس پستری کانال در قسمت های مختلف آن متفاوت باشد. مقاطع مرکب کانال های طبیعی و رودخانه ها مثال هایی از کانال های با زیری متفاوت هستند. در اینجا مقاطع می توان از فرمول مانتینگ در تحلیل جریان استفاده نمود ولی این امر مستلزم آن است که برای پستری کانال یک زیری معادل معرفی گردد. به گونه ای که چنانچه این زیری معادل در فرمول مانتینگ قرار داده شود، دبی واقعی را بدست دهد.⁵ روش های مختلف در تعیین زیری معادل مانتینگ ارائه شده که به شرح زیر می باشد:



$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \rightarrow S = \left(\frac{nV}{R^{2/3}} \right)^2 \quad n_e = \frac{(\sum n_i^2 P_i)^{1/2}}{P^{1/2}}$$

رابطه ی بارلوفسکی

$$S = S_1 = S_2 = S_3$$

$$\left(\frac{n_e V}{R^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{n_1 V}{R_1^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{n_2 V}{R_2^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{n_3 V}{R_3^{2/3}} \right)^2$$

$$n_e = \frac{(\sum n_i^{2/3} P_i)^{2/3}}{P^{2/3}} = \frac{[(n_1^{1/5} P_1) + (n_2^{1/5} P_2) + (n_3^{1/5} P_3)]^{2/3}}{(P_1 + P_2 + P_3)^{2/3}}$$

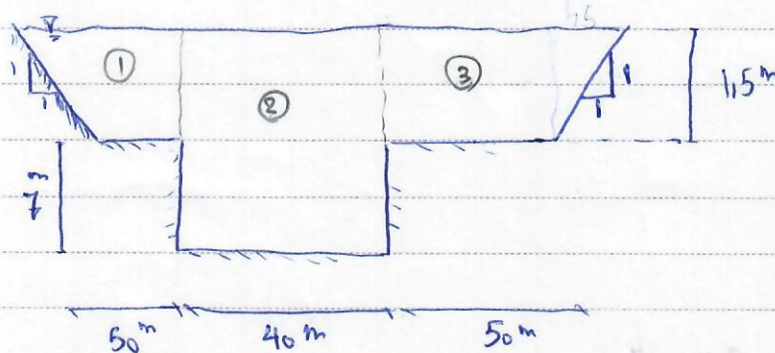
میانگین هندسی - هندسی

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \rightarrow n_e = \frac{P R^{5/3}}{\sum \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \left(\frac{A_1 R_1^{2/3}}{n_1} + \frac{A_2 R_2^{2/3}}{n_2} + \frac{A_3 R_3^{2/3}}{n_3} \right) \sqrt{S}$$

روش زیری معادل

در شکل زیر مقطع یک رودخانه در زمان سیلاب نشان داده شده است با فرض اینکه ضریب تری مانینگ در کانال اصلی ۰/۰۳ و در قسمت قای سیلابی ۰/۰۵ باشد و در رودخانه با آب ازای شیب طولی ۰/۰۰۵ با استفاده از روش های ذکر شده محاسبه نمایید.



$$A_1 = A_3 = \frac{(50 + 51.5) \times 1.5}{2} = 76.125 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 40 \times 7 = 280 \text{ m}^2$$

محیط ترانه

$$P_1 = P_3 = 50 + \sqrt{1.5^2 + 1.5^2} = 52.12 \text{ m}$$

$$P_2 = 40 + 7 + 7 = 54 \text{ m}$$

$$P'_2 = 40 + 8.5 + 8.5 = 57 \text{ m}$$

$$R_1 = R_3 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{76.125}{52.12} = 1.46 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} = \frac{280}{54} = 5.19 \text{ m}$$

$$R'_2 = \frac{A_2}{P'_2} = \frac{280}{57} = 4.91 \text{ m}$$

$$n_e = \frac{(\sum n_i^{1/5} p_i)^{2/3}}{p^{2/3}} = \frac{[2(0.4^{1/5} \times 52112) + (0.3^{1/5} \times 54)]^{2/3}}{(52112 \times 2 + 54)^{2/3}} = 0.367$$

5

10

1/2

15

20

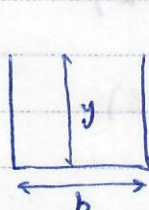
25

* بهترین مقطع هیدروکنی: با فرض مقدار S و n مشخص اگر بخواهیم دبی را افزایش دهیم، برای این که سطح مقطع مشخصی بایست مقدار محیط اثرش $\min$ گردد. با کاهش محیط اثرش، نسبتاً دبی عبوری جریان افزایش می یابد. بکم هزینه های اقتصادی نیز کاهش خواهد یافت. در بین کلیه مقاطع با سطح مقطع برابر کانال های باز نیم دایره ای کمترین پیرامون مربوط و در نتیجه بهترین عملکرد هیدروکنی را دارند.

5

* بهترین مقطع هیدروکنی برای کانال مستطیل شکل:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} S^{\frac{1}{2}}$$



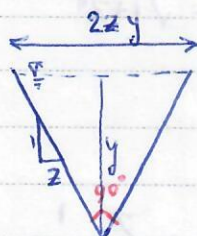
$$A = by \rightarrow b = \frac{A}{y} = \frac{2y^2}{y} = 2y \rightarrow \boxed{b = 2y}$$

10

$$P = b + 2y \rightarrow \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \rightarrow -\frac{A}{y^2} + 2 = 0 \rightarrow \frac{A}{y^2} = 2 \rightarrow y = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

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

12



* بهترین مقطع هیدروکنی برای کانال مثلثی شکل:

$$A = \frac{2zy \times y}{2} = zy^2 \rightarrow y = \sqrt{\frac{A}{z}}$$

15

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

$$P^2 = 4\left(\frac{A}{z} + Az\right)$$

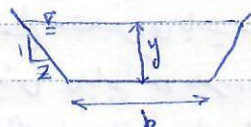
20

$$\frac{dP^2}{dz} = 0 \rightarrow -\frac{4A}{z^2} + 4A = 0 \rightarrow \left(1 - \frac{1}{z^2}\right) = 0 \rightarrow \boxed{z = 1}$$

$$\rightarrow A = y^2$$

25

* بهترین مقطع هیدرولیک برای کانال دوزنتی :



$$A = by + zy^2 \rightarrow b = \frac{A - zy^2}{y} = \frac{A}{y} - zy \quad (1)$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} \quad (2)$$

5 $\textcircled{1}, \textcircled{2} \rightarrow \frac{A}{y} - zy + 2y\sqrt{1+z^2}$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 0 \rightarrow \frac{A}{y^2} - z + 2\sqrt{1+z^2} = 0 \rightarrow \frac{by + zy^2}{y^2} - z + 2\sqrt{1+z^2} = 0$$

$$\rightarrow \frac{b}{y} - z - z + 2\sqrt{1+z^2} = 0 \rightarrow \frac{b}{y} = 2(\sqrt{1+z^2} - z)$$

10

وقتی که z ثابت است یعنی z را به داده اند

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

1/2

$$P = 2y\sqrt{1+z^2} - 2yz + 2y\sqrt{1+z^2} = 4y\sqrt{1+z^2} - 2yz$$

15

$$\frac{\partial P}{\partial z} = 0 \rightarrow \frac{8yz}{2\sqrt{1+z^2}} - 2y = 0 \quad \frac{2z}{\sqrt{1+z^2}} = 1 \rightarrow 2z = \sqrt{1+z^2}$$

$$\rightarrow 4z^2 = 1 + z^2 \rightarrow z = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

20

$$z = \frac{1}{\sqrt{3}} \rightarrow b = 2y(\underbrace{\sqrt{1+\frac{1}{3}}}_{\frac{2}{\sqrt{3}}} - \frac{1}{\sqrt{3}}) \rightarrow b = \frac{2y}{\sqrt{3}}, z = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

وقتی که z متغیر است ، وقتی بهترین مقطع است که $\frac{1}{2}$ کی شیب منی مستقیم است.

25



- تجربی : چرا نیم دایره بهترین مقطع هیدرولیک از همه ی آن است ؟

$$A = \frac{\pi y^2}{2} \rightarrow y = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt{A}$$

$$P_{ret} = \frac{\pi y}{2} = \pi \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt{A} = 2.505 \sqrt{A}$$

مثال: یک کانال با شیب طولی $\frac{1}{2000}$ در مصارفی از جنس بتن ساخته می‌شود. اگر قرار باشد این کانال دبی $60 \frac{m^3}{sec}$ را منتقل نماید، هزینه نسبی 2 متر مربع را باید کمتر مقایسه کنید.

کمترین مقطع هیدرولیکی

الف) مقطع مستطیل با پوششی از بتن با ضریب زبری $n = 0.14$

ب) مقطع دوزنقه‌ای با $Z = 1.5$ و برون پوشش $(n = 0.25)$

فرض نماید هزینه پوشش برای ازای هر متر مربع دو برابر هزینه حفاری به ازای هر متر مربع باشد.

* این رابطه برای تمام مقاطع هیدرولیکی که بهترین مقطع هندسه‌ای داشته باشند

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1}{2} y = 1.5 y$$

$$P = b + 2y = 4y$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \rightarrow 60 = \frac{1}{0.14} \times 2y^2 \times \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{\frac{1}{2000}}$$

$$\rightarrow y^{\frac{8}{3}} = (\dots) \rightarrow y = (\dots)^{\frac{3}{8}} \rightarrow \begin{cases} y = 3.572 \text{ m} \\ b = 2y = 7.144 \text{ m} \end{cases}$$

هزینه پوشش (2x) + هزینه حفاری (x) = هزینه به ازای 1 متر طول

$$= (3.572 \times 7.144) \times 1 \times x + (7.144 + 2 \times 3.572) \times 1 \times 2x = 54.096 x$$

ب) $b = 2y(\sqrt{1+Z^2} - Z) = 2y(\sqrt{1+1.5^2} - 1.5) = 1.606 y$

$$A = by + y^2 = 1.606 y^2 + y^2 = 2.106 y^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+Z^2} = 1.606 y + 2y\sqrt{1+1.5^2} = 4.212 y$$

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

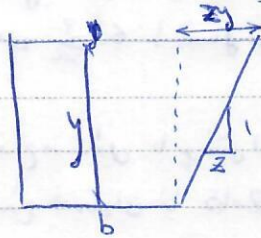
قبلاً نیز اثبات شده بود

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \rightarrow 60 = \frac{1}{0.25} \times 2.106 y^2 \times \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{\frac{1}{2000}} \rightarrow y = 4.354 \text{ m}$$

$$A = 39.93 \text{ m}^2$$

$$\text{هزینه} = (39.93 \times 1) x + 0 = 39.93 x$$

بهترین مقطع هیدرولیک برای شکل زیر با فرض Z ثابت تعیین کنید.



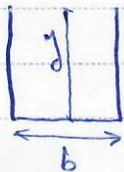
$$A = by + \frac{Zy^2}{2} \rightarrow b = \frac{A - \frac{Zy^2}{2}}{y}$$

$$P = b + y + y\sqrt{1+Z^2} \rightarrow P = \frac{A}{y} - \frac{Zy}{2} + y + y\sqrt{1+Z^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 0 \quad -\frac{A}{y^2} - \frac{Z}{2} + 1 + \sqrt{1+Z^2} = 0 \rightarrow -\frac{b}{y} - \frac{Z}{2} - \frac{Z}{2} + 1 + \sqrt{1+Z^2} = 0$$

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

10



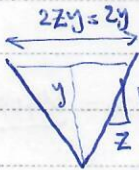
$$\begin{cases} b = 2y \\ A = by = 2y^2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} y = \sqrt{\frac{A}{2}} \\ b = 2\sqrt{\frac{A}{2}} \end{cases}$$

به ازای یک مقطع ثابت کدام یک بهترین

عملدهیدرولیک است؟

$$P = b + 2y = 2\sqrt{\frac{A}{2}} + 2\sqrt{\frac{A}{2}} = 4\sqrt{\frac{A}{2}} \rightarrow P_{ret} = 2.828\sqrt{A}$$

15



$$A = y^2 \rightarrow y = \sqrt{A}$$

$$P = 2y\sqrt{1+Z^2} \xrightarrow[\substack{y=\sqrt{A} \\ Z=1}]{Z=1} P = 2\sqrt{2}\sqrt{A} \rightarrow P_{ret} = 2.828\sqrt{A}$$

20



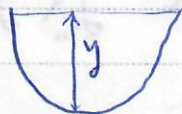
$$\begin{cases} b = 2y(\sqrt{1+Z^2} - Z) \\ Z = \frac{\sqrt{3}}{3} \end{cases} \rightarrow b = 1.155y$$

$$A = y(b + Zy) = y(1.155y + \frac{\sqrt{3}}{3}y) = 1.732y^2 \rightarrow y = 0.76\sqrt{A}$$

25

$$P = b + 2y\sqrt{1+Z^2} = (1.155 \times 0.76 \times \sqrt{A}) + 2 \times 0.76\sqrt{A} \times (\sqrt{1+(\frac{\sqrt{3}}{3})^2})$$

$$P = 2.633\sqrt{A}$$

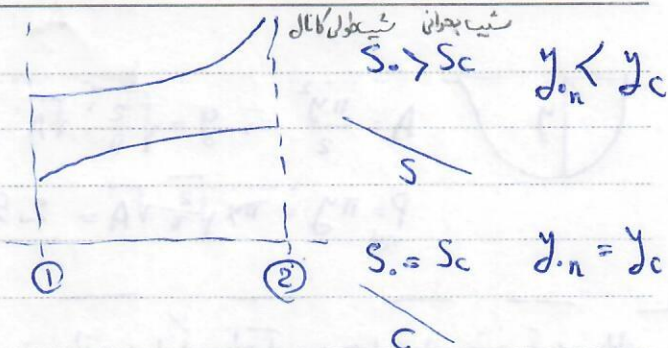


$$A = \frac{\pi y^2}{2} \rightarrow y = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt{A}$$

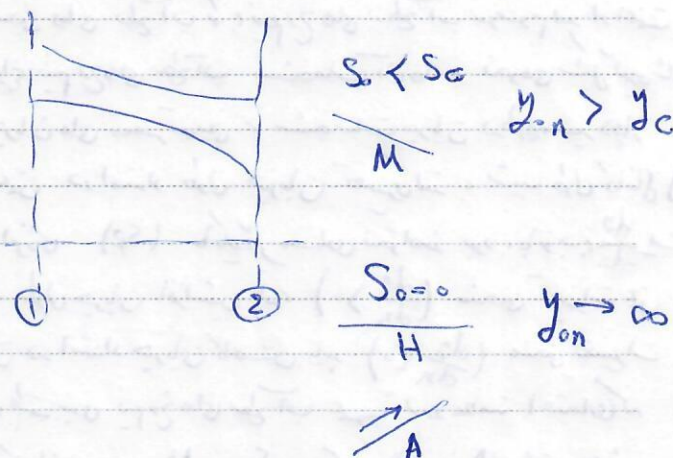
$$P_{wet} = \pi y = \pi \times \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt{A} = 2.506 \sqrt{A}$$

5 *** تئوری جریان های متغیر تدریجی:** باتوجه به اینکه سطح آب در جریان های متغیر تدریجی دارای
 لختی باشد، بررسی چگونگی تغییرات منحنی های سطح آب که به نیم رخ های سطح آب موسوم اند از اهمیت
 ویژه ای برخوردار است. لذا در این فصل انواع نیم رخ های سطح آب مشخصات آن ها و نحوه ی شکل گیری شان
 به صورت کیفی بررسی خواهد شد. در جریان های متغیر تدریجی، مشخصات جریان در طول مسیر دچار
 تغییر می شود. لذا از آنجا که سرعت و عمق در امتداد طولی جریان تغییر می کند، شیب طولی کانال (S)
 10 شیب سطح آب (S_w) و شیب خط انرژی (S_p) با یکدیگر مساوی نخواهند بود. باتوجه به تغییرات
 y نسبت به x چنانچه عمق در امتداد طولی جریان افزایش یابد، $(\frac{dy}{dx})$ منحنی تغییرات عمق
 1/2 فرا آب نامیده می شوند. و چنانچه عمق در امتداد جریان کاهش یابد $(\frac{dy}{dx})$ منحنی تغییرات
 سطح آب در نوع فرو آب خواهد بود. برای طبقه بندی نیم رخ های سطح آب عموماً از دو علامت اختصاری که
 15 یکی معروف نوع شیب کانال بوده و با کبی از حروف M - S - C - H - A مشخص می شود.
 و دیگری که معروف ناحیه ی جریان است و بصورت کبی از اعداد 1 - 2 - 3 در سمت راست حروف
 فوق ذکر قرار می گیرد. استفاده می گردد. برای این منظور ابتدا به ازای دبی، شیب و مشخصات هندسی
 و ذری کف کانال، عمق نرمال مربوطه از رابطه مشتق می شود. سپس با توجه به مشخص بودن دبی
 و مشخصات هندسی مقطع عمق بحرانی نیز تعیین و از مقایسه این دو عمق، نوع شیب و جریان
 20 تعیین می گردد. همچنین می توان از مقایسه شیب طولی کانال (S₀) با شیب بحرانی (S_c) نوع جریان
 را مشخص نمود. در حالت طی هر شیب می تواند دارای سه ناحیه جریان و مطابق شکل های زیر باشد
 که از مقایسه عمق جریان در مقطع مورد مطالعه و اعماق نرمال و بحرانی مطالعه می شود.

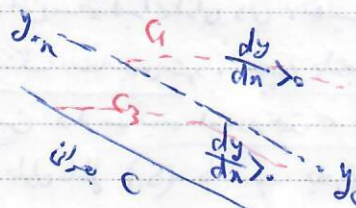
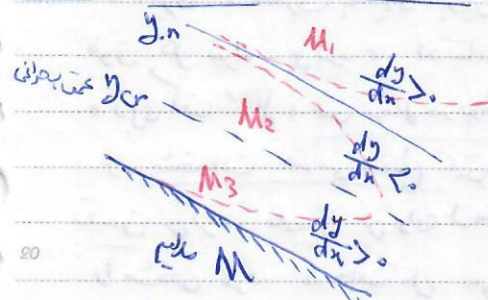
$\frac{dy}{dx} > 0$ فرواب



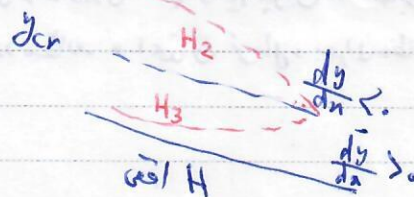
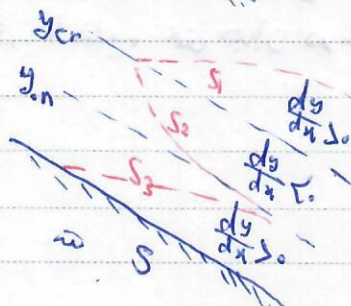
$\frac{dy}{dx} < 0$ فرواب



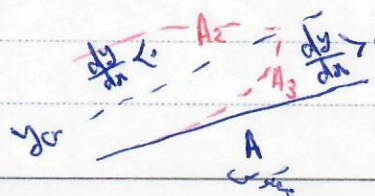
15



20



25



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

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{dz}{dx} - \frac{Q^2}{gA^3} \left(\frac{dA}{dy} \right) \left(\frac{dy}{dx} \right)$$

$\underbrace{\hspace{1cm}}_T$

$$\underbrace{\frac{dH}{dx}}_{-S_f} = (1 - Fr^2) \underbrace{\frac{dz}{dx}}_{-S_0} \rightarrow S_0 - S_f = (1 - Fr^2) \frac{dy}{dx}$$

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

شیب خط انرژی شیب کف کانال

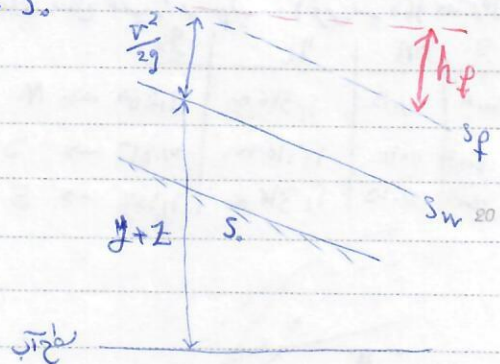
برای مقطع $M \rightarrow M_1 = \frac{dy}{dx} = \begin{matrix} (+) \\ (+) \\ (+) \end{matrix}$ $y > y_0 \rightarrow V < V_0$

$M_2 = \frac{dy}{dx} = \begin{matrix} (+) \\ (-) \\ (+) \end{matrix}$ $Fr < 1$ جریان زیر بحرانی

$M_3 = \frac{dy}{dx} = \begin{matrix} (-) \\ (-) \\ (-) \end{matrix}$ فوق بحرانی

$M_1 \rightarrow y > y_0 \rightarrow V < V_0 \quad h_p \propto v^2 \rightarrow S_p < S_0$

$M_2 \rightarrow y < y_0 \rightarrow V > V_0 \quad S_f > S_0$



مثال: آب با دبی $11.27 \frac{m^3}{sec}$ در یک کانال مستطیل به عرض $6.1 m$ و شیب طول 0.001 جریان دارد. ضریب نری مانینگ $n = 0.17$ باشد.

الف) نوع شیب کانال را مشخص نماید

ب) برای رسیدن این کانال ساخته شده است که عمق آب را به $4.57 m$ رساند تا بهی جریان را

ششای کرده و نوع نیم رخ سطح آب شکل گرفته در این ناحیه را مشخص نماید

$$Q = 11.27 \quad q = \frac{Q}{b} = \frac{11.27}{6.1} = 1.84 \quad y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 0.7 m$$

$$n = 0.17$$

$$S = 0.001$$

$$b = 6.1 m$$

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

$$11.27 = \frac{1}{0.17} \times 6.1 \times y_o \times \left(\frac{6.1 y_o}{6.1 + 2 y_o} \right)^{\frac{2}{3}} \times (0.001)^{\frac{1}{2}}$$

10

$$\rightarrow y_o = 1.13 m$$

$$y_o = 1.13 > y_c = 0.7 \rightarrow M$$

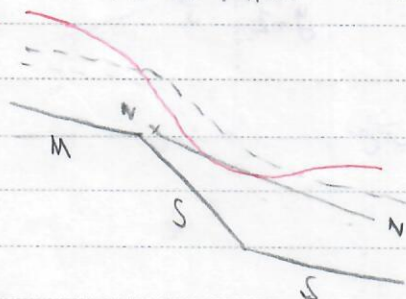
$$y = 4.57 \rightarrow y > y_o > y_c \rightarrow M_1 \text{ فرآب-زیر بحرانی}$$

مثال: یک کانال دوزخی به عرض $4 m$ و شیب جداره $1:1$ دارای سه قسمت A, B, C

به ترتیب با شیب های طول 0.0004 - 0.009 - 0.004 و ضرایب نری مانینگ 0.15 - 0.12 - 0.15 است.

برای دبی $22.5 \frac{m^3}{sec}$ نیم رخ های سطح آب را ترسیم کنید. فرض کنید کانال ها همگونی بوده و نیم رخ های صورت کانال شکل گرفته اند.

S_o	n	y_c	y_o
A/0.0004	0.15	1.316 m	2.1264 $\rightarrow M$
B/0.009	0.12	1.316 m	0.812 $\rightarrow S$
C/0.004	0.15	1.316 m	1.192 $\rightarrow S$



25