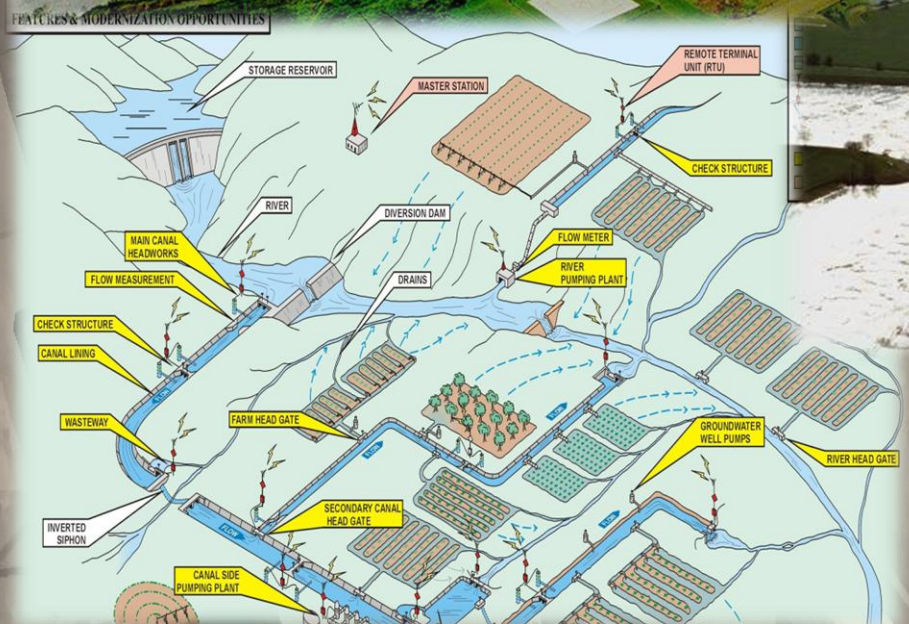
هیدرولیک


FEATURES & MODERNIZATION OPPORTUNITIES
STORAGE RESERVOIR
MASTER STATION
REMOTE TERMINAL UNIT (RTU)
CHECK STRUCTURE
RIVER
DIVERSION DAM
MAIN CANAL HEADWORKS
FLOW METER
FLOW MEASUREMENT
DRAINS
RIVER PUMPING PLANT
CHECK STRUCTURE
CANAL LINING
WASTEWAY
FARM HEAD GATE
GROUNDWATER WELL PUMPS
RIVER HEAD GATE
INVERTED SIPHON
SECONDARY CANAL HEAD GATE
CANAL SIDE PUMPING PLANT

بسم الله الرحمن الرحيم

درصورت وجود اشکال لطفا با ذکر آن و شماره صفحه به ایمیل اینجانب اطلاع دهید.

با تشکر **میثم برزگر**

فصل ۱

مفاهیم اساسی جریان سیالات

معیار زمان

- معیار زمان
  - جریان دائمی (ماندگار) Steady Flow $\frac{dv}{dt} = 0 , \frac{dy}{dt} = 0$
  - جریان غیر دائمی $\frac{dv}{dt} \neq 0 , \frac{dy}{dt} \neq 0 , \frac{dQ}{dt} \neq 0$

معیار مکان

- معیار مکان (فضا)
  - جریان یکنواخت Uniform Flow
  - جریان غیر یکنواخت Varied Flow
    - متغیر تدریجی Gradually V.F.
      - انحنای خطوط جریان کم است.
    - متغیر ناگهانی Rapidly V.F.
    - متغیر مکانی Spatially V.F.
      - اضافه یا کم شدن جریان آب

تقسیم بندی جریان در کانال های باز

- جریان دائمی
- جریان غیر دائمی

جریان غیر دائمی

- جریان دائمی

۱. یکنواخت :
۲. متغیر تدریجی : پس زدگی در پشت دریچه کشویی کانال، بند و یا سد
۳. متغیر ناگهانی : پرش هیدرولیکی
۴. متغیر مکانی

جریان غیر دائمی

- جریان غیر دائمی

۱. یکنواخت : X
۲. متغیر تدریجی : عبور سیل از رودخانه
۳. متغیر ناگهانی : جزر و مد در رودخانه – بستن ناگهانی دریچه کشویی کانال
۴. متغیر مکانی

اثر لزجت

حالت جریان : حالت جریان تحت تاثیر اثرات لزجت ثقل و دانسیته است.

- اثر لزجت
  - انواع جریان
    - جریان لایه ای (آرام)
    - جریان بینابینی (انتقالی)
    - جریان متلاطم (آشفته)

آزمایشات نشان داده است که جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰-۵۰۰۰ حالت انتقالی دارد. حال با توجه به اینکه در لوله D=4R لذا میتوان حالت بینابینی در کانال را در گستره ۵۰۰-۱۲۵۰ در نظر گرفت.

اثر ثقل

- ثقل

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

  - L طول مشخصه که عمق هیدرولیکی D در نظر گرفته می شود.

  - عمق هیدرولیکی

$$D = \frac{A}{B}$$

    - B : عرض سطح آزاد آب
    - A : مساحت سطح مقطع جریان

  - **جریان زیر بحرانی** **Sub Critical Flow** $Fr < 1$
  - **جریان بحرانی** **Critical Flow** $Fr = 1$
  - **جریان فوق بحرانی** **Super Critical Flow** $Fr > 1$

اثر دانسیته

- دانسیته (جرم مخصوص) :
  - جریان همگن : Homogenous Flow

    جرم مخصوص در تمام جهات برابر است.

  - جریان لایه بندی شده : Stratified Flow

    جرم مخصوص در جهات مختلف , متفاوت است.

انواع کانال های باز

- انواع کانال های باز : Open Channel

۱. کانال های باز طبیعی : رودخانه ها , آبراهه ها
۲. کانال های باز مصنوعی : جوب ها , زهکش ها و کانال هایی که برای اهداف خاصی ساخته می شوند.

- **کانال** **Canal**
- **کانال پایه دار** **Flume**
- **تند آبراه** **Chute**
- **شیب شکن** **Drop**
- **تونل جریان باز** **Open Flow Tunnel**
- **آبرو** **Culvert**

تقسیم بندی

- تقسیم بندی بر اساس ماهیت مرز کانال :
  - Rigid Boundary Channels : کانال هایی که مرز آنان تغییر نمی کند. (No deformable)
  - Mobile Boundary Channels : کانال های باز طبیعی و کانال های مصنوعی که در تشکیلات آبرفتی حفر شده باشند و lining و پوشش دادهه نشده باشند.

شکل هندسی کانال

- شکل هندسی کانال :
  - کانال منشوری Prismatic Channel : شیب و ابعاد و راستای کانال در طول آن تغییر نمی کند.
  - کانال غیر منشوری

مقطع کانال

- مقطع کانال : مقطع عمود بر جهت جریان.
- مقطع قائم کانال : مقطع قائمی که از پایین ترین نقطه مقطع عبور می کند.

- مقطع ها :
  - منظم : شکل هندسی منظم دارند : مثلث , مستطیل , ذوزنقه و غیره...
  - نامنظم : غیر هندسی : رودخانه ها

اجزاء هندسی مقطع کانال

- عمق جریان : y عمق قائم جریان
- عمق مقطع جریان : d عمود بر جهت جریان
- تراز Stage

پهنای فوقانی جریان	B
سطح مقطع - مساحت جر	A
محیط خیس شده	P
شعاع هیدرولیکی	$R = A/P$
عمق هیدرولیکی	$D = A/B$
ضریب مقطع	$Z = A\sqrt{D}$

اصل پیوستگی

- اصل پیوستگی : Continuity Equation
  - خط جریان : خطی است که در هر لحظه برایند سرعت بر آن خط مماس است.
  - لوله جریان : بخشی از سیال که محصور به چندین خط جریان می باشد.
- معادله پیوستگی جریان در :
  - جریان دائمی - متغییر تدریجی : لوله جریانی را در نظر بگیرید.

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2$$

  - جریان دائمی - متغییر مکانی : اگر q_x ثابت باشد.

$$q_x = \frac{dQ}{dx}$$

$$Q = Q_1 + \int q_x dx$$

$$Q = Q_1 + xq_x = Q_1 + L.q_x$$

اصل پیوستگی

- معادله پیوستگی جریان در جریان غیر دائمی :

  Q_1 و Q_2 لزوما برابر نیستند در این شکل Q_2 را بزرگتر از Q_1 در نظر بگیرید.

- معادلات عمومی حرکت : ($F=ma$)

  – معادله انرژی :

  – معادله مومنتم : impulse

$$\int F ds = m\int a ds = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\int F dt = m\int a dt = m(V_2 - V_1)$$

فصل ۲

کاربرد اصلي انرژي (معادله مومنتوم) در جريان كانال باز

در مسائل عملي كانالهاي باز، جريان را به صورت يك بعدي تحليل مي‌كنيم: يعني

«جهت طول = جهت حركت (جريان) »

$$H = \left(\frac{P}{\gamma} + Z\right) + \alpha\left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

خصوصيات متوسط جريان در مقطع جريان (مقطع عمود بر جهت جريان) را در نظر گرفته و تغييرات آنها را در جهت جريان بررسي مي كنيم؛ لذا مي‌خواهيم مقدار متوسط H را در مقطع عرضي بر جهت جريان بررسي كنيم :

۱ـ مقدار متوسط $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ ؟ در مقطع عرضي ؟ $\alpha\left(\frac{v^2}{2g}\right)$

۲ـ مقدار $\left(\frac{P}{\gamma} + Z\right)$ در مقطع عرضي جريان = ؟

اكنون بايد بررسي كنيم كه عبارت $\left(\frac{P}{\gamma} + Z\right)$ در مقطع جريان چگونه است؟

توزيع فشار

فشار در سطح آزاد آب = فشار اسمز = فشار نسبی = 0

توزيع فشار در جريان كانالهاي باز تابع مشتقات ثقل و ديگر شتابها طبق معادله اولر است.

در جهت دلخواه s (۱) $-\partial/\partial s\left(\frac{P}{\gamma}+Z\right)=\rho a_s$: معادله اولر

در جهت n (عمود بر s) (۲) $-\partial/\partial n\left(\frac{P}{\gamma}+Z\right)=\rho a_n$: معادله اولر

اكنون يك خط جريان در جهت s در نظر بگيريد و n جهت عمود بر آن:

بايد توزيع فشار را در جهت n بررسی كنيم. شتاب عمودي بر خط جريان در هر مقطعي از معادله $a_n=\frac{v^2}{r}$ به دست مي‌آيد.

v: سرعت جريان در طول خط جريان با انحناي r

حالت های توزیع فشار

اکنون ۳ حالت را بررسي مي كنيم:

أ- توزيع هيدروستاتيكي فشار

ب- جریان یکنواخت

ج- توزیع فشار در جریان با انحناء (خمیده)

توزيع هيدروستاتيكي فشار

- حالت $v=0$ (آب ساكن):
  - n را در جهت z در نظر بگيريد. با انتگرال گيري از رابطه ۲ خواهيم داشت:

$$-\partial/\partial n\left(\frac{P}{\gamma}+Z\right)=0 \rightarrow \frac{P}{\gamma}+Z=c$$

  - اما در نقطه اي روي سطح سيال داريم:

$$[c=z_1] \quad z=z_1, P=0 \quad \Rightarrow \frac{P}{\gamma}+z=z_1$$

در هر نقطه دلخواهي مثل A در عمق y زير سطح آزاد آب، (طبق شكل)

$$\frac{P_A}{\gamma}=z_1-z_A=y$$

$$\Rightarrow P_A=\gamma y \quad \Rightarrow$$

توزيع هيدروستاتيكي فشار

  - در اين حالت فشار به صورت خطي با عمق تغيير مي‌كند و ضريب تناسب γ است.

$$\frac{P_A}{\gamma}=y$$

و فشار در هر نقطه برابر عمق آن نقطه زير سطح آزاد آب است.

- سطح آب موازي كف كانال است.

- سطح مقطع (۱-۰)، الماني به طول ΔL و عرض واحد (عمود بر صفحه) در نظر بگيريد. هر نقطه اي مثل A در عمق y (كه عمود برسطح آزاد آب اندازه گيري مي‌شود)، وزن ستون آب و در جهت قائم عمل مي‌كند.

$$\gamma \Delta L y = A\square A'$$

- فشار در AA' با مولفه عمودي وزن ستون $A\square A'$ موازنه برقرار مي‌كند. لذا

$$P_A \Delta L = \gamma y \Delta L \cos\theta \quad \Rightarrow \quad \frac{P_A}{\gamma} = y\cos\theta$$

(چرا؟)

- پس هد پيزومتريك در A برابر است با:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z = y\cos\theta + z$$

- يعني فشار به صورت خطي با y تغيير مي‌كند. لكن ضريب تناسبي اسنت.

اگر نقطه o را در نظر بگیریم، h عمق عمود بر جهت جریان است و d عمق قائم نقطه o تا سطح آزاد آب، در این صورت $h = d\cos\theta$ و فشار در کف و در o برابر است با:

$$P_0 = \gamma h \cos\theta \Rightarrow \text{هد فشار} = \frac{P_0}{\gamma} = h\cos\theta = d\cos^2\theta$$

هد پیزومتریك در هر نقطه اي مثل A، برابر است با: $z_A + y\cos\theta = z_0 + h\cos\theta$

لذا در کل مقطع هد پیزومتریک $z_0 + d\cos^2\theta =$

شیب رودخانه ها و کانالها را خیلي تند گویدن اگر $\cos^2\theta = 0.9999$ یا $\sin\theta = 0.01$

به طور کلي اگر $\theta < 6^\circ$ یا شیب کمتر از ۱۰% باشد، توزیع فشار را مي‌توان هیدروستاتیکي در نظر گرفت. به روایت دیگر $\theta < 10^\circ$ یا $7.18>$ شیب که در اغلب موارد این شرایط برقرار است. پس زین پس:

$\cos\theta = \cos^2\theta \approx 1$

توزيع فشار در جريان خميده

- انحناي خطوط جريان در جريان متغير تدريجي آنقدر كم است كه a_n قابل اغماض است. لذا توزيع فشار در جريان متغير تدريجي را نيز مي‌توان هيدروستاتيكي در نظر گرفت.

$$\frac{P}{\gamma}+Z = \text{هد پيزومتريك} = \text{عمق قائم} + z$$

جمع بندي

- **جمع بندي:** در جريان كانالهاي باز، توزيع فشار هيدروستاتيكي است. اگر:
  ۱. شيب كانال خيلي زياد باشد.
  ۲. انحناي خطوط جريان زياد باشد. مثل محل ريزش آزاد آب *Free overfall*

مسأله تبديل

The Transition Problem

مسأله تبديل

- مسأله تبديل
  - كف كانال را در بالادست دريچه سطح بنا مي گيريم.

و اما مسأله تبديل

- كانالهاي مستطيلي و افقي
  - برآمدگي كف را ملايم در نظر بگيريد.
  - معلومات : $Q \Leftarrow V_1 \ , \ y_1 \ , \ \Delta z$
  - مجهولات: y_2 يا V_2
  - **حل** : كف كانال در بالادست تبديل = سطح مبنا
  - مجهولات ظاهراً ۲ تاست.
  - دبي در واحد عرض كانال، q

$$H_1 = H_2$$

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta z$$

$$q = \frac{Q}{b} = y_1 V_1 = y_2 V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{q}{y_2}$$

مسأله تبديل

– تنها مجهول y_2 است و قابل حل .

$$y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \Delta z \Rightarrow$$

معادله درجه ۳ فوق معمولاً داراي ۲ جواب مثبت است (ارتفاع منفي بي معني است).

حال مسأله اين است كه كدام يك از پاسخها درست است؟!

انرژي مخصوص و عمق هاي متناوب

(Specific Energy & Alternative Sepths)

انرژي مخصوص و عمق هاي متناوب

انرژي مخصوص *(E)*، انرژي نسبت به كف كانال (سطح مبنا):

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

حال نحوه تغييرات E نسبت به y براي q=cte را بررسي مي كنيم.

$$E_2 = E_1 - \Delta Z \qquad , \quad Ey = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}$$

بخش يگري از نمودار در ربع۲ است كه عمق منفي مي‌دهد.

شاخه بالايي، نماينده جريان عميق و كم سرعت و شاخه بالايي نماينده جريان سريع و كم عمق است كه در يك نقطه (بحراني) به هم مي رسند. جريان را در اين حالت، بحراني گوييم.

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

$$\Rightarrow (E - y)y^2 = \frac{1}{2g}q^2 = cte$$

سؤال اين است كه B رخ مي‌دهد يا B`

انرژي مخصوص و عمق هاي متناوب

اگر مشخصات جريان در بالادست، به وسيله نقطه A نمايش داده شود: آنگاه B جواب است.

استدلال اين است كه روي منحني نمي توان از B رد شد تا به `B رسيد (چون دبي ثابت است)

زيرا E سيستم از E2 كمتر است. لذا قطعاً $y_2 < y_1$

اما اينكه سطح آب افت مي‌كند يا بالا مي رود، بستگي به ΔZ ندارد.

(به دليل افزايش انرژي) سطح آب افت مي‌كند.

$$y_2 < y_1 \Rightarrow V_2 > V_1 \Rightarrow \frac{V_2^2}{2g} > \frac{V_1^2}{2g} \Rightarrow$$

حداكثر اختلاف ارتفاع بالادست و پايين دست را ΔZ_{max} مي ناميم. با تغيير ارتفاع در اين بازه مشخصات جريان تغيير نمي كند. در نقطه اي بحراني جريان كمترين انرژي مخصوص را داراست. اين مقدار را انرژي بحراني مي ناميم.

جريان در آستانه چوك (انسداد):

$$E_1 - E_c = \Delta z_{max}$$

جريان به صورت چوك (choke)

$$\Delta Z = \Delta Z_{max} = choke$$

$$\Delta Z > \Delta Z_{max}$$

انرژي مخصوص و عمق هاي متناوب

- حالت choke:
  - مي بينيم كه اين انرژي *E1*، به صورت تئوري آب نمي تواند اين Δz را رد كند. اما اين اتفاق در طبيعت رخ مي‌دهد و E1 آن افزايش مي يابد. اين امر باعث ايجاد جريان غيريكنواخت مي‌گردد. پس زدگي (Back water).
  - ممكن است اين كمبود انرژي به وسيله كاهش دبي يا افزايش ارتفاع آب (y) تأمين مي‌گردد.

انرژي مخصوص و عمق هاي متناوب

- **مسئله تبديل به صورت تغيير در عرض كانال**

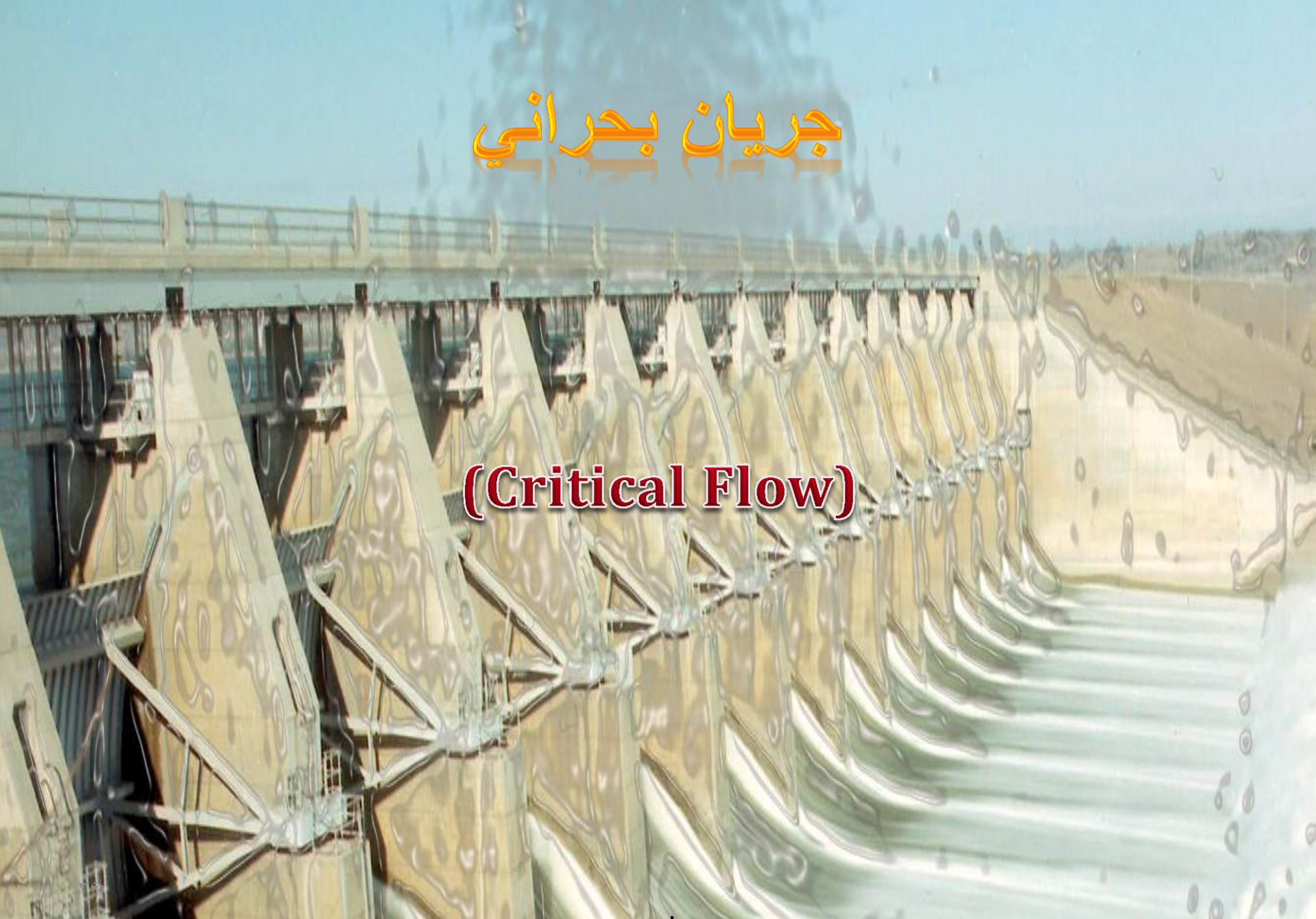
$$q_1 = \frac{Q}{b_1} \quad , \quad q_2 = \frac{Q}{b_2}$$

$$b_2 < b_1 \Rightarrow q_2 > q_1 \quad ; \quad \Delta Z = 0$$

چون ارتفاع كانال تغيير نمي كند $(\Delta Z = 0)$
، انرژي هم تغيير نمي كند.

$$E = E_1 = E_2$$

بعداً رابطه اي بين Ec , q خواهيم يافت.



جريان بحراني

(Critical Flow)

جريان بحراني

خصوصيات تحليلي جريان بحراني (ديد رياضي)

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

$$\Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - \frac{q^2}{gy^3} \Rightarrow q^2 = gy_c^3 \Rightarrow q = \sqrt{gy_c^3} \qquad y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\Rightarrow V_c = \sqrt{gy_c} \quad , \quad \frac{v_c^2}{2g} = \frac{1}{2}y_c \Rightarrow E_c = \frac{1}{2}y_c + y_c = \frac{3}{2}y_c \Rightarrow y_c = \frac{2}{3}E_c$$

بنابراين تمام نقاط بحراني ممكن روي نمودار متعلق به خط $E = \frac{3}{2}y$ مي باشند.

حال براي E معين داريم(E_0)

$$q^2 = 2gy^2(E_0 - y) \quad , \quad \frac{dq}{dy} = 0 \Rightarrow y = \frac{2}{3}E_0$$

بنابراين حالت بحراني، حالتي است كه حداكثر دبي ممكن را براي يك مقدار معين انرژي مخصوص دارد.

$$\begin{cases} y \to 0 \\ y \to E_0 \end{cases} \to \begin{cases} q \to 0 \\ q \to 0 \end{cases}$$

جريان بحراني

- سرعت بحراني و سرعت موج:
  - معادله $V_c = \sqrt{gy_c}$ بيان می کند که در جريان بحرانی، سرعت برابر $\sqrt{gy}$ است.
  - از طرف ديگر، اين عبارت برابر سرعت پيشروي موجي طويل با ارتفاع کم در آبي با عمق y است که اين از مهمترين خصوصيات حالت بحراني است.

    دو نوع موج: ۱-نوساني ۲-سرج (surge)

- موج سرج:
  - داراي فرانت يا پيشاني متلاطمي است و تغيير ناگهاني در عمق موج ايجاد مي‌کند. مثال ديگر اين است که اگر آب ساکني داشته باشيم و صفحه قائمي را با سرعت ؟ در آن حرکت دهيم، موج *surge* ايجاد شده و با سرعت c پيشروي مي‌کند. اگر ناظر در پيشاني موج باشد، جريان دائمي است. اگر ناظر در ساحل باشد جريان غير دائمي است. اگر روي موج باشد، بالا و پايين موج ارتفاع ثابتي دارد. پس دائمي است. با نوشتن معادله انرژي :

$$c = \sqrt{gy}$$

جريان بحراني

- موج نوساني:

$$c^2 = \frac{gL}{2\pi} tgh\left(\frac{2\pi y}{L}\right)$$

y: عمق آب كانال

L: طول موج

اگر L نسبت به y بسيار بزرگ باشد، آنگاه $\frac{2\pi y}{L}$ كوچک بوده لذا $tgh(\frac{2\pi y}{L})$ با $\frac{2\pi y}{L}$ برابر خواهد بود. پس

$$c^2 = gy \Leftarrow c^2 = \frac{gL}{2\pi} \cdot \frac{2\pi y}{L}$$

اينها همان امواجي‌اند كه اغلب در كانالها بر اثر عملكرد كنترلی ها و موانع به وجود مي‌آيند. بنابراين مي‌توان نتيجه گيري كرد كه سرعت موج $c = \sqrt{gy}$ ، سرعت انتقال به هم خوردگي در جريان كانال باز روي سطح آب است. البته c نسبت به آب سنجيده مي‌شود.

عدد فرود را قبلاً تعريف كرده بوديم كه:

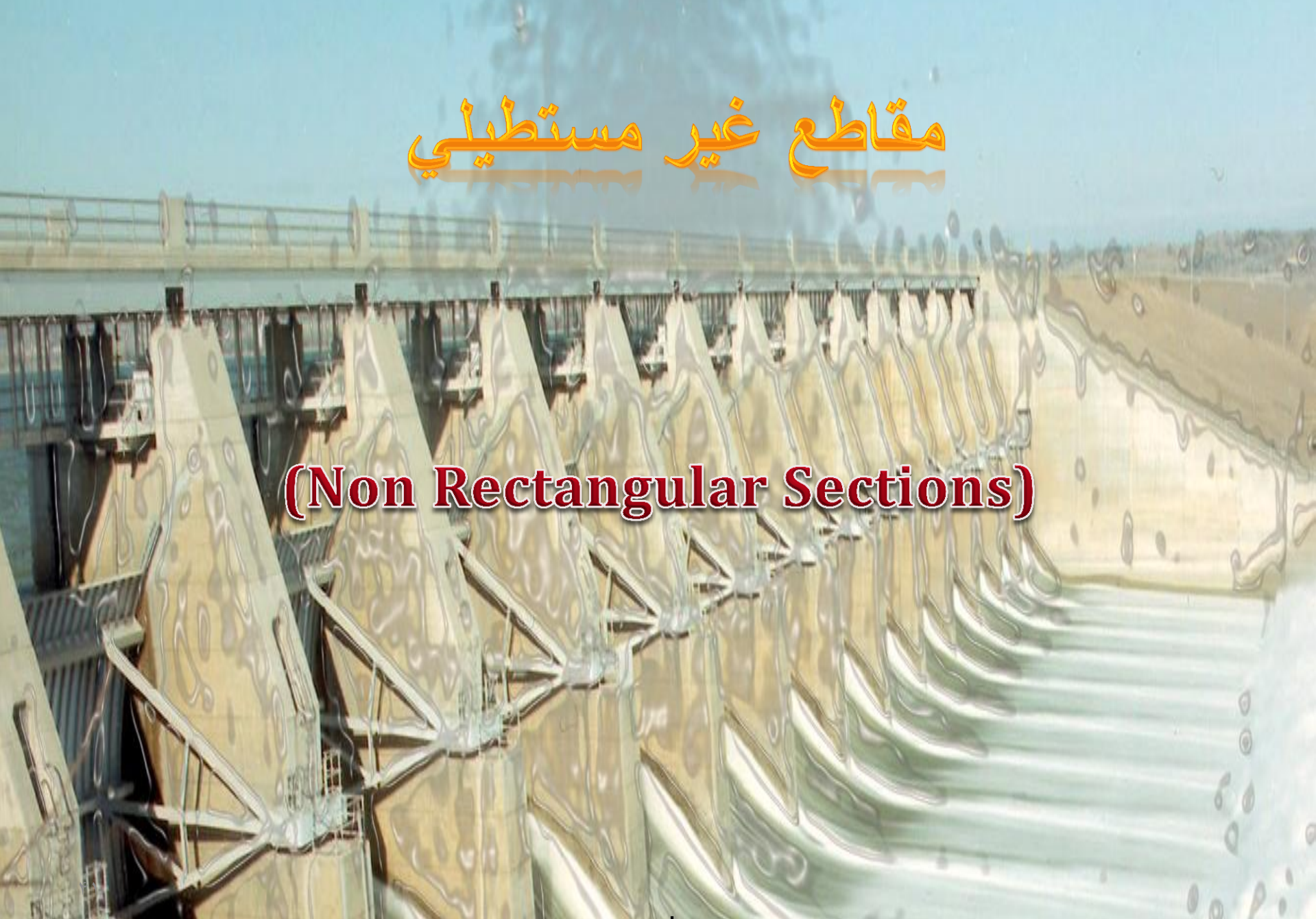
$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

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

جريان بحراني

كنترل پايين دست و بالادست:

در جريان زيربحراني، يك به هم خوردگي مي‌تواند به سمت بالادست حركت كند. يعني جريان زير بحراني تحت تأثير كنترل در پايين درست است.
برعكس، جريان فوق بحراني نمي تواند توسط هيچ مكانيزمي در پايين دست تحت تأثير قرار گيرد. لذا فقط از بالادست كنترل مي‌شود. مثلاً دريچه كشويي.



مقاطع غير مستطيلي

(Non Rectangular Sections)

مقاطع غير مستطيلي

- فرم معادله انرژي مخصوص

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

$$B = \frac{dA}{dy} \Rightarrow E'(y) = 1 - \frac{Q^2 B}{gA^3}$$

$$\frac{dE}{dy} = 0 \Rightarrow Q^2 B_c = g A_c^{\,3} \Rightarrow V_c = \sqrt{gD} \quad \leftarrow$$

– شرط حداقل بودن انرژي مخصوص (جريان بحراني)

D: عمق هيدروليكي $(\frac{A}{B} =)$ B: پهناي سطح آب

$$D = y \quad , Fr = \frac{V}{surge\ velocity} = \frac{V}{\sqrt{gD}} \Rightarrow \frac{dE}{dy} = 1 - Fr^2$$

مقاطع غير مستطيلي

- محاسبه عمق بحراني
  - روشهاي محاسبه عمق بحراني در انواع مقطع ها:
    - مستطيلي:
    - غيرمستطيلي:
  - روش سعي و خطا: به عنوان مثال براي مقطع ذوزنقه اي.
  - روش هاي عددي: حل معادله غير خطي بر حسب yc توسط يكي از روشهاي زير:
    - نيوتون- رافسون
    - تنصيف
    - تفاضلهاي عددي (بسط سري تيلور)
    - Interval Halving
    - Bi- Section
    - Seiant

$$y_c = (q^2/g)^{1/3}$$

$$y_c = f(q,g)$$

$$Q^2 B_c = gA^3 \Rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^{\,3}}{B_c} = \frac{(b+my_c)^3 y_c^{\,3}}{b+2my_c}$$

مقاطع غير مستطيلي

– روش منحني (جدول)هاي بي بعد

معادله $Q^2 B_c = gA^3$ را به صورت زير بي بعد كرده‌اند.

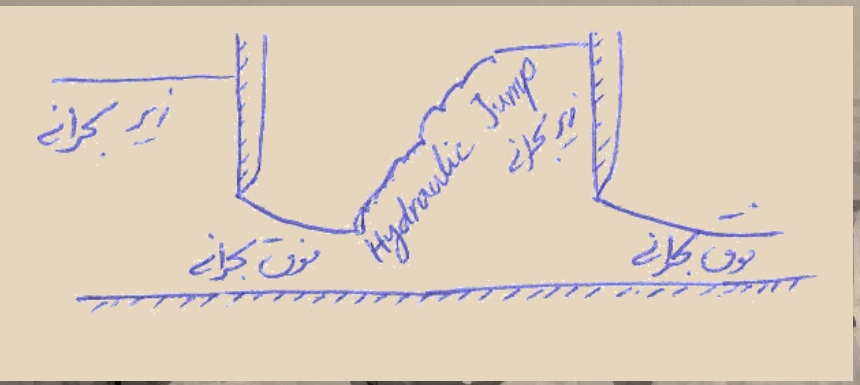
$$\frac{Q^2 m^3}{g b^5} = \frac{(1+y'_c)^3 y'^3_c}{(1+2y'_c)} \quad ; \quad y'_c = \frac{m y_c}{b}$$

$$\Rightarrow \frac{Q m^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{g} \cdot b^{\frac{5}{2}}} = \Psi = \frac{(1+y'_c)^{\frac{3}{2}} y'^{\frac{3}{2}}_c}{(1+2y'_c)^{\frac{1}{2}}}$$

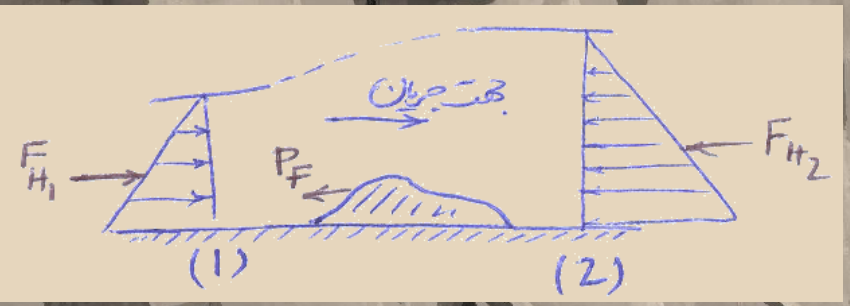
فصل ۳

کاربرد اصل مومنتوم در جریان کانالهاي باز

کاربرد اصل مومنتوم



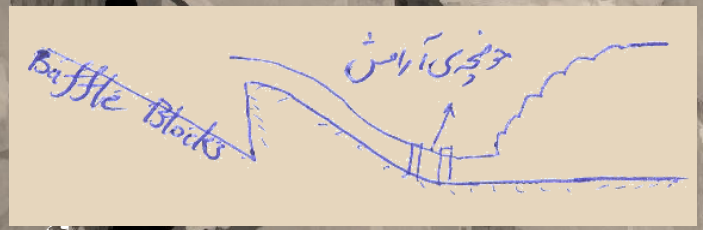
- از طريق پرش هيدروليكي جريان فوق بحراني به جريان زير بحراني تبديل مي‌شود.چون در پرش هيدروليكي، افت انرژي زياد است، نمي توان از معادله انرژي بهره گرفت.



- تابع مومنتوم – كانالهاي مستطيلي

مواد خاص از شكل بالا عبارتند از:

- $p_f \neq 0 \ , \ \Delta E = 0$ دريچه كشويي
- $p_f = 0 \ , \ \Delta E \neq 0$ پرش هيدروليكي ساده
- $p_f \neq 0 \ , \ \Delta E \neq 0$ پرش هيدروليكي به كمك موانع (پايه)



كاربرد اصل مومنتوم

نيوري رو به حركت به توده اي آب محصور بين مقاطع ۱ و ۲ وارد مي‌شود:

$$\Delta(Q\rho V) = (Q\rho V)_2 - (Q\rho V)_1$$
$$= F_{H1} - F_{H2} - P_f \quad (I)$$

براي مقطع مستطيلي، عرض واحد كانال را در نظر بگيريد:

$$(I) \Rightarrow q\rho V_2 - q\rho V_1 = \frac{\gamma}{2} y_1^{\,2} - \frac{\gamma}{2} y_2^{\,2} - P_f \quad , \quad V = \frac{q}{b} \quad (b = 1)$$

$$\Rightarrow \frac{P_f}{\gamma} = \left(\frac{q^2}{g y_1} + \frac{y_1^{\,2}}{2}\right) - \left(\frac{q^2}{g y_2} + \frac{y_2^{\,2}}{2}\right) = M_1 - M_2$$

طبق تعريف M : تابع مومنتوم

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

کاربرد اصل مومنتوم

در پرش هيدروليكي ساده:

$$P_f = 0 \Rightarrow M_1 = M_2 \Rightarrow \frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2}\right) = \frac{1}{2}\left(y_1^{\,2} - y_2^{\,2}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{q^2}{2gy^1y^2} = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)$$

با $q = V_1 y_1$ داريم :

$$\frac{V_1^{\,2}}{g} = \frac{1}{2}\frac{y_2}{y_1}(y_2 - y_1) \xrightarrow[\times\,\gamma]{} \frac{V_1^{\,2}}{g} = Fr_1^{\,2} = \frac{1}{2}\frac{y_2}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1} + 1\right)$$

y2 مجهول : معادله پرش هيدروليكي:

y1: مجهول

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

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

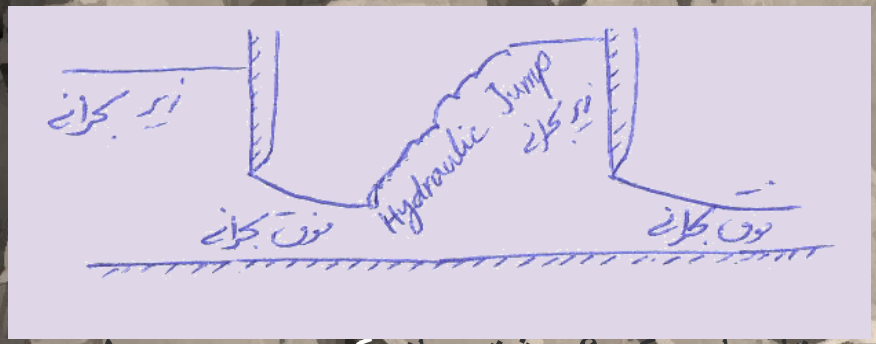
y2 , y1 را عمق هاي مزدوج (Conjagate Depths)

يا متوالي (alternative) مي‌ناميم.

کاربرد اصل مومنتوم

اگر با داشتن $y2 , v1 , y1$ را محاسبه کنيم، اينكه آيا پرش هيدروليكي رخ مي‌دهد، تابع شرايط پايين دست است (چون $y2$ زير بحراني است). يكي از اين شرايط $v2$ است. يعني اولين شكل صفحه قبل لزومي ندارد كه پرش هيدروليكي رخ داده باشد. فرض مي كنيم پرش رخ داده است:

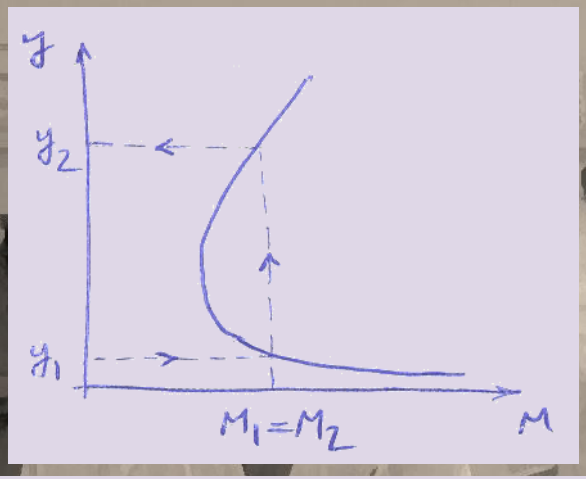
لذا محل تشكيل پرش به بالادست منتقل مي‌شود تا اينكه دريچه ۱ غرق شود.

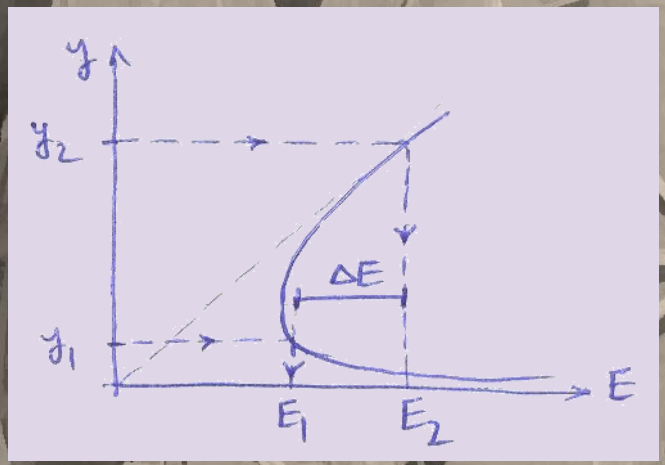


محل تشكيل پرش به پايين دست منتقل مي‌شود تا جايي كه ؟ بيشتر باز كردن دريچه ۱ جريان فوق بحراني بالادست بدن برخورد با دريچه ۲ از زير آن عبور مي‌كند.

رابطه $y2 , y1$ عكس يكديگر است.

کاربرد اصل مومنتوم

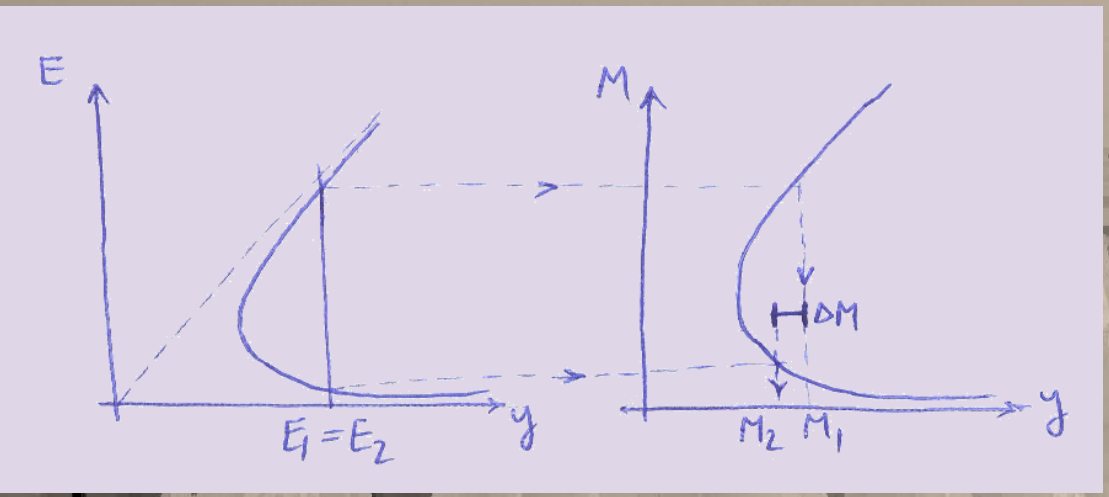




- رابطه M-y:
  - با داشتن مشخصات جريان در بالادست برش (y_1,v_1) مي‌خواهيم افت انرژي ناشي از پرش را بيابيم.
  - ابتدا با استفاده از معادله مومنتوم يا به صورت گرافيكي (منحني فوق) y_2 را مي يابيم.
  - انرژي مخصوص متناظر با ۲ حالت را يافته و تفاضل آنها را حساب مي نماييم.

مقطع مستطيلي : $\Delta E = \dfrac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2}$ ←

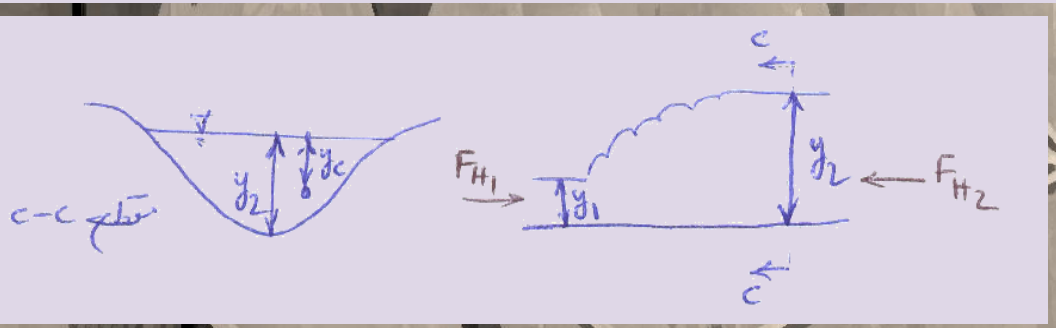
کاربرد اصل مومنتوم



- حل مسأله دريچه كشويي

$$M_1 > M_2$$

$$\frac{P_f}{\gamma} = M_1 - M_2$$



- مقطع هاي غيرمستطيلي

$$F_{H1} - F_{H2} = \rho Q(V_2 - V_1)$$

$$Ah_{c1} + \frac{Q^2}{gA_1} = Ah_{c2} + \frac{Q^2}{gA_2}$$

جايگزيني V با $\frac{Q}{A}$ و تقسيم بر γ تابع مومنتم :

$$M = Ah_c + \frac{Q^2}{gA}$$

کاربرد اصل مومنتوم

A_{hc} گشتاور اول نسبت به سطح آب است. h_c تابعي از y و هندسه مقطع عرضي كانال است.

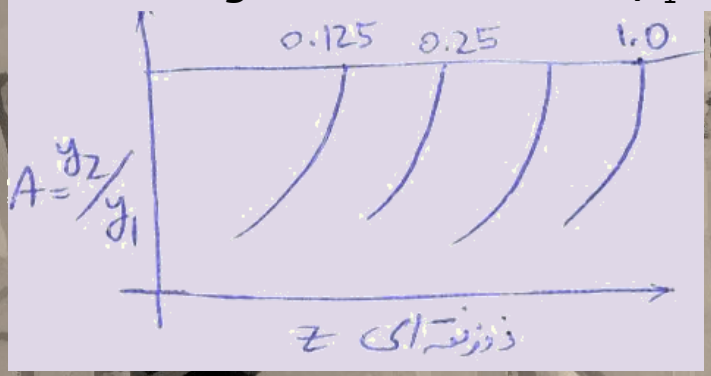
براي مقطع ذوزنقه اي:

$$M = \frac{by^2}{2} + \frac{my^3}{3} + \frac{Q^2}{gy\,(b+my)}$$

اگر شرايط بالادست (y_1, v_1) معلوم باشد و قرار دادن $M_1 = M_2$ و بي بعد كردن معادله خواهيم داشت:

$$\frac{1.5A^2}{y_1'} + A^3 + \frac{3z^2}{Ay_1'^4(1+Ay_1')} = \frac{1.5}{y_1'} + 1 + \frac{3z^2}{y_1'^4(1+y_1')}$$

$$z^2 = \frac{Q^2m^3}{gb^5} \quad , \quad A = \frac{y_2}{y_1} \quad , \quad y_1' = \frac{my_1}{b}$$

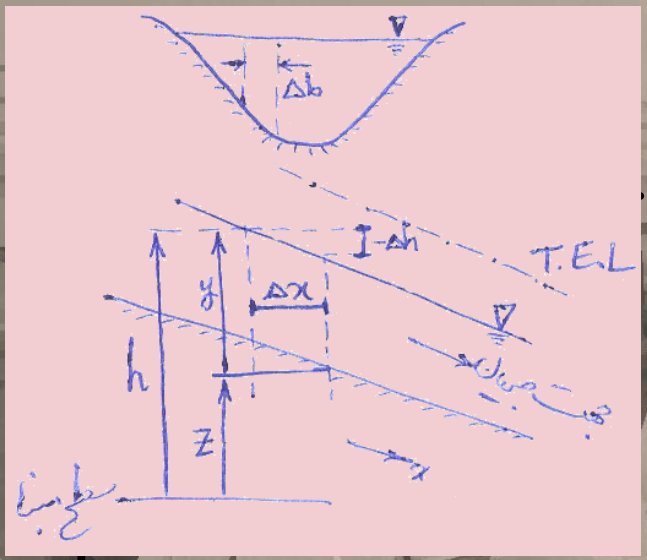


اين معادله را در مقادير مختلف A و y_1' مستقيماً براي z حل مي كنيم. آن گاه منحني زير را رسم مي‌نماييم:

$$\frac{y_2}{y_1} = f(y_1', z) \quad , \quad y_1' = \frac{my_1}{b}$$

مقاومت جریان

معادله مقاومت جريان



- معادله مقاومت جريان

المان كوچكي با ابعاد $\Delta b, \Delta x, y$ در نظر بگيريد.

ميزان بالا آمدن سطح آب: $\Delta h = h_2 - h_1$

شيبها را كوچك و توزيع فشار را هيدروستاتيكي در نظر بگيريد، اختلاف فشار در طول هر خط افقي طولي در المان $P = \gamma h \Rightarrow \gamma \Delta h =$

بنابراين در صورت كوچك بودن $\frac{\Delta z}{y}, \frac{\Delta h}{y}$ و اينكه علامت نيرو را در جهت جريان مثبت در نظر مي گيريم، خواهيم داشت:

نيروي هيدروستاتيكي افقي بر المان = (اختلاف فشار) × (مساحت مقطع عرضي كانال) = $(-\gamma \Delta h)(y \Delta b)$

نيروي كل هيدروستاتيكي و افقي در مقطع عرضي كانال = $-\gamma A \Delta h$

لذا نيروي خالص در جهت حركت برابر خواهد بود با = $-\gamma A \Delta h - \tau_0 P \Delta x$

معادله مقاومت جریان

- دو حالت را در نظر میگیریم:
  - جریان یکنواخت

$$a = 0 \Rightarrow \sum F = 0 \Rightarrow -\gamma A \Delta h - \tau_0 P \Delta x = 0$$

$$\Rightarrow \tau_0 = \gamma R S_0 \quad \left[S_0 = \sin\theta = -\overbrace{\frac{dz}{dx}}^{\tan\theta} = -\frac{dh}{dx} \;,\; R = \frac{A}{P} \right]$$

حالت کلی

– حالت کلی تر (جریان غیریکنواخت)

$\neq 0 \Rightarrow$ نیروي خالص $= v\dfrac{dv}{dx} \neq 0$ شتاب : سرعت متوسط در جهت جریان تغییر مي‌کند.

فقط شتاب جابجايي = شتاب در جریان غیر یکنواخت دائمي

این نیرو به آن جرم $\rho A\Delta x$ وارد می‌گردد.

$$F = ma \Rightarrow -\gamma A\Delta h - \tau_0 P\Delta h = (\rho A\Delta x)\left(v\frac{dv}{dx}\right)$$

$$\Rightarrow \tau_0 = -\gamma R\left(\frac{dh}{dx} + \frac{v}{g}\frac{dv}{dx}\right) = -\gamma R\frac{d}{dx}\left(h + \frac{v^2}{2g}\right) = -\gamma R\frac{dH}{dx} \Rightarrow \tau_0 = \gamma RS_f$$

- که در آن $S_f = -\dfrac{dH}{dx}$ شیب خط انرژي کل یا شیب اصطکاکي (friction slope) است. بنابراین براي حالتي از جریان $\tau_0 = \gamma RS$ و مهم این است که S را درست تفسیر کنیم: یعني در جریان یکنواخت $S=S_0 (=S_f)$ و در جریان غیر یکنواخت $S=S_f$

معادله شزي

- معادله شزي (Chezy Equation)
  - درست مثل جريان در لوله، با تحليل ابعادي در كانال باز مي‌توانيم بدان دست يابيم، $\tau_0 = \gamma RS \quad (1)$

$\tau_0 = a\rho v^2$ كه در آن a عددي بي حد است كه لزوماً ثابت نيست ولي مي‌تواند تابعي از زبري كانال، شكل مقطع كانال و عدد رينولدز باشد. $\mathrm{Re}\left(=\frac{\rho v R}{\mu}\right), \frac{\varepsilon}{R}, \frac{\tau_0}{\rho v^2}$

تعداد پارامترها: n=6 تعداد كميتهاي اساسي فيزيكي: m = 3

تعداد پارامترهاي بي بعد طبق پي باكينگهام: $K=n-m = 6-3=3$

تحليل ابعادي: پارامترهاي بي بعد مستقل = $\tau_0 = f(R, v, \varepsilon, \rho, \mu)$

$$\Rightarrow f\left(\mathrm{Re}, \frac{\varepsilon}{R}, \frac{\tau_0}{\rho v^2}\right) = 0 \quad , \frac{\tau_0}{\rho v^2} = f'\left(\mathrm{Re}, \frac{\varepsilon}{R}\right) = a$$

$$\Rightarrow \tau_0 = a\rho v^2 \quad (2)$$

$$(1),(2) \Rightarrow v = \sqrt{\frac{g}{a} RS} \xrightarrow{c = \sqrt{g/a}} v = c\sqrt{RS}$$

– رابطه c با f: طبق معادله دارسي- ويسباخ

و با توجه به اينكه **D=4R** و اينكه

f : بدون بعد

$$h_f = f\frac{L}{d}\cdot\frac{v^2}{g}$$

$$c = \sqrt{8g/f} \qquad \Leftarrow \qquad \frac{h_f}{L} = S_f$$

$$[c] = L^{\frac{1}{2}}T^{-1}$$

معادله مانینگ

- معادله مانینگ (Manning Equation)
  - در سیستم متریك :

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} \ , \ v = C\sqrt{RS} \Rightarrow v = \frac{R^{\frac{2}{3}}\sqrt{S}}{n} \times 1$$

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

$$[1] = T^{-1} L^{\frac{1}{3}}$$

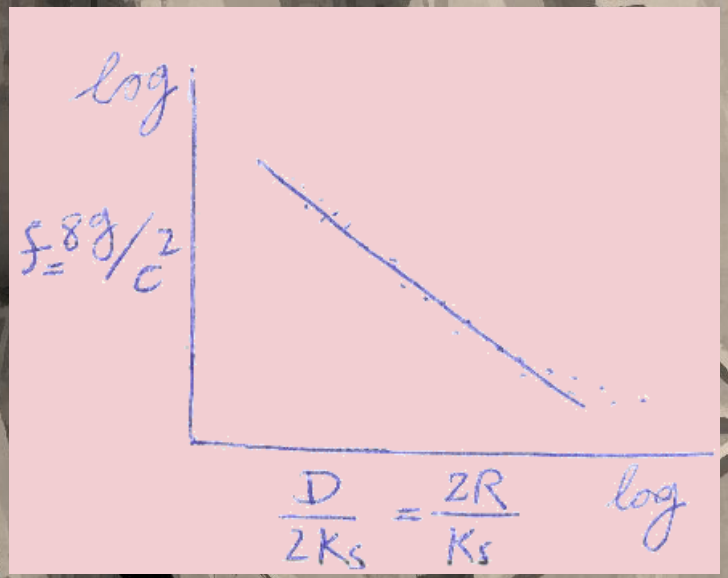
- عددي كه اضافه كرديم،
براي اين است كه دو طرف معادله هم واحد باشند.

  - در سیستم آحاد انگلیسي :

$$1m = 3.28ft \rightarrow \sqrt[3]{1m} = \sqrt[3]{3.28ft} = 1.486 \Rightarrow v = \frac{1.486 R^{\frac{2}{3}}\sqrt{S}}{n}$$

معادله مانینگ

– معادله مانینگ براي جريان زبر هيدروليكي اعتبار دارد، اگر معادله ٤-١١ (روي دياگرام مودي اصلاح شده) مربوط به جريان زير را روي كاغذ لگاريتمي رسم كنيم:



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{c}{\sqrt{8g}} = 2\log\left(\frac{12R}{K_s}\right)$$

$$\Rightarrow f \propto \left(\frac{K_s}{R}\right)^{\frac{1}{3}} \propto \frac{g}{c^2} \Rightarrow c \propto \left(\frac{R}{K_s}\right)^{\frac{1}{6}}$$

معادله مانینگ

– از مقایسه رابطه اخیر با رابطه $C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$ (مربوط به معادله مانینگ) نتیجه $n \propto K_s^{\frac{1}{6}}$ مي گيريم كه رابطه اخير موید معادله مانینگ است و به هر حال رابطه خط مستقیم به صورت : $f = 0.180\left(\frac{K_s}{D}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.113\left(\frac{K_s}{R}\right)^{\frac{1}{3}}$

اگر از d (قطر دانه هاي شن و نفوذ تنگ کف ابراهه ها) بجاي K_s استفاده کنیم:

$$f = 8\frac{g}{c^2} = 0.113\left(\frac{d}{R}\right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow c = \sqrt{\frac{8g}{0.113}} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^{\frac{1}{6}} = \frac{1.49R^{\frac{1}{6}}}{0.031d^{\frac{1}{6}}} \rightarrow n$$

که شبیه معادله مانینگ است به شرطي که $n = 0.031d^{\frac{1}{6}}$ (d بر حسب ft است.)

حدود اعتبار معادله مانینگ: $n^6\sqrt{RS} \geq 1.9 \times 10^{-13}$ (R بر حسب ft است.)

– رابطه اخیر از ۳ رابطه زیر به دست آمده است:

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{gRS} \quad , \quad 4 < \frac{v^* K_s}{\upsilon} < 100 \quad , \quad n = 0.031d^{\frac{1}{6}}$$

روشهاي براورد ضريب n

- روشهاي براورد ضريب n:

۱. فرمولهاي تجربي

- روش اشريكلر براي كانالهاي طبيعي

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.1}$$

- فرمول Meyer براي رودخانه هاي كوهستاني

$$n = \frac{d_{90}^{\frac{1}{6}}}{26}$$

۲. استفاده از جدول: اگر از شرايط بستر اطمينان نداشته باشيم، بايد n را دست بالا بگيريم، هر چند ممكن است موجب overdesign گردد.

۳. روش US-SCS: اداره حفاظت خاك امريكا Soil coveraion service عوامل مؤثر بر مقاومت جريان : پوشش گياهي، نامنظمي مقطع در راستاي كانال فازبري جداره و عمق جريان n را تخمين زده و سپس با توجه به عوامل فوق آنها را تصحيح مي نمايند.

روشهاي براورد ضريب n

۴.عكس و اسلايد US-GS

۵.بهر حال، كاليبره كردن (واسنجي) مدل هيدروليكي، n را بايد اصلاح و تنظيم كنيم.

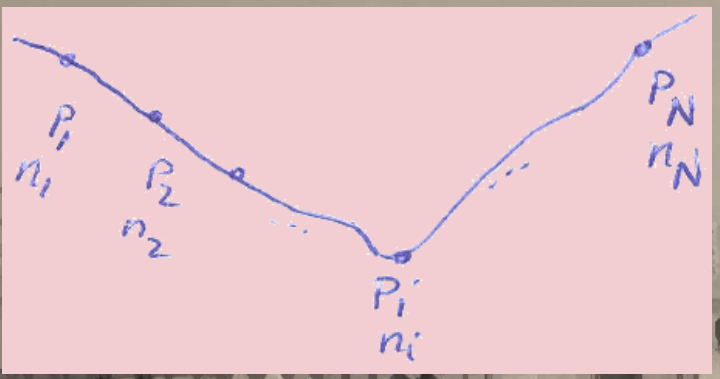
Calibration : verification (validation , confirmation)

۶.به كمك معادله دارسی - ويسباخ:

$$f = 0.113\left(\frac{K_s}{R}\right)^{\frac{1}{3}}, h_f = f\frac{L}{D}\cdot\frac{v^2}{2g} = f\frac{L}{4R}\cdot\frac{v^2}{2g}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{1}{f}\cdot\frac{h_f}{L}\cdot 4R\cdot 2g \Rightarrow v^2 = 8.25\frac{\sqrt{g}}{K_s^{\frac{1}{6}}}R^{\frac{2}{3}}\sqrt{S}$$

زبري معادل



- زبري معادل (Equivalent Roughness)
  زبري مركب (Composite Roughness)
  - مصاديق: كانالهاي باز مصنوعي
    كانالهاي آزمايشگاهي (فلوم) ، رودخانه.
    - n_i : زبري قطعه i ام
    - P_i : طول قطعه i ام
    - N : تعداد كل قطعات

$$S_0^{\frac{1}{2}} = \frac{v_1 n_1}{R_1^{\frac{2}{3}}} = \cdots = \frac{v_N n_N}{R_N^{\frac{2}{3}}} = \frac{v n_{eq}}{R^{\frac{2}{3}}}$$

  - فرض بر اين است كه سرعت در تمام A_i ها برابر و مساوي سرعت متوسط است.

$$\left(\frac{A_i}{A}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{n_i P_i^{\frac{2}{3}}}{n_{eq} P^{\frac{2}{3}}} \Rightarrow A_i = A\frac{n_i^{\frac{3}{2}} P_i}{n_{eq}^{\frac{3}{2}} P} \quad , \quad A = \sum A_i$$

    - V : سرعت متوسط در مقطع
    - N_{eq} : زبري معادل
    - R : شعاع هيدروليكي در كل مقطع.

$$\Rightarrow A = \frac{A}{n_{eq}^{\frac{2}{3}} P} \cdot \sum (n_i^{\frac{2}{3}} P_i) \Rightarrow n_{eq} = \left(\frac{\sum n_i^{\frac{2}{3}} P_i}{P}\right)^{\frac{2}{3}}$$

فصل ۵

محاسبه جریان یکنواخت

Uniform Flow Computation

محاسبه جریان یکنواخت

- چند حالت در محاسبه جریان یکنواخت وجود دارد:

۱. S, V, Q یا n مجهول باشد.

۲. y_0 یا یکي از اجزاي هندسي مقطع (مثل d, m, b) مجهول باشد.

یادآوری :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad , \quad Q , n > 0$$

عمق یکنواخت (y_0) ، عمق فعال (y_n)

$$k = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} \rightarrow nk = A R^{\frac{2}{3}} :$$

k فاکتور مقطع براي کانال مشخص

(ثابت بودن m, b) فقط تابعي از y است.

محاسبه جريان يكنواخت

❖مثال: براي مقطع ذوزنقه اي داريم:

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

$$R=\frac{A}{P}\rightarrow AR^{\frac{2}{3}}=\frac{(b+m)^{\frac{5}{3}}y^{\frac{5}{3}}}{(b+2y\sqrt{1+m^2})}=f\ (b,m,y)$$

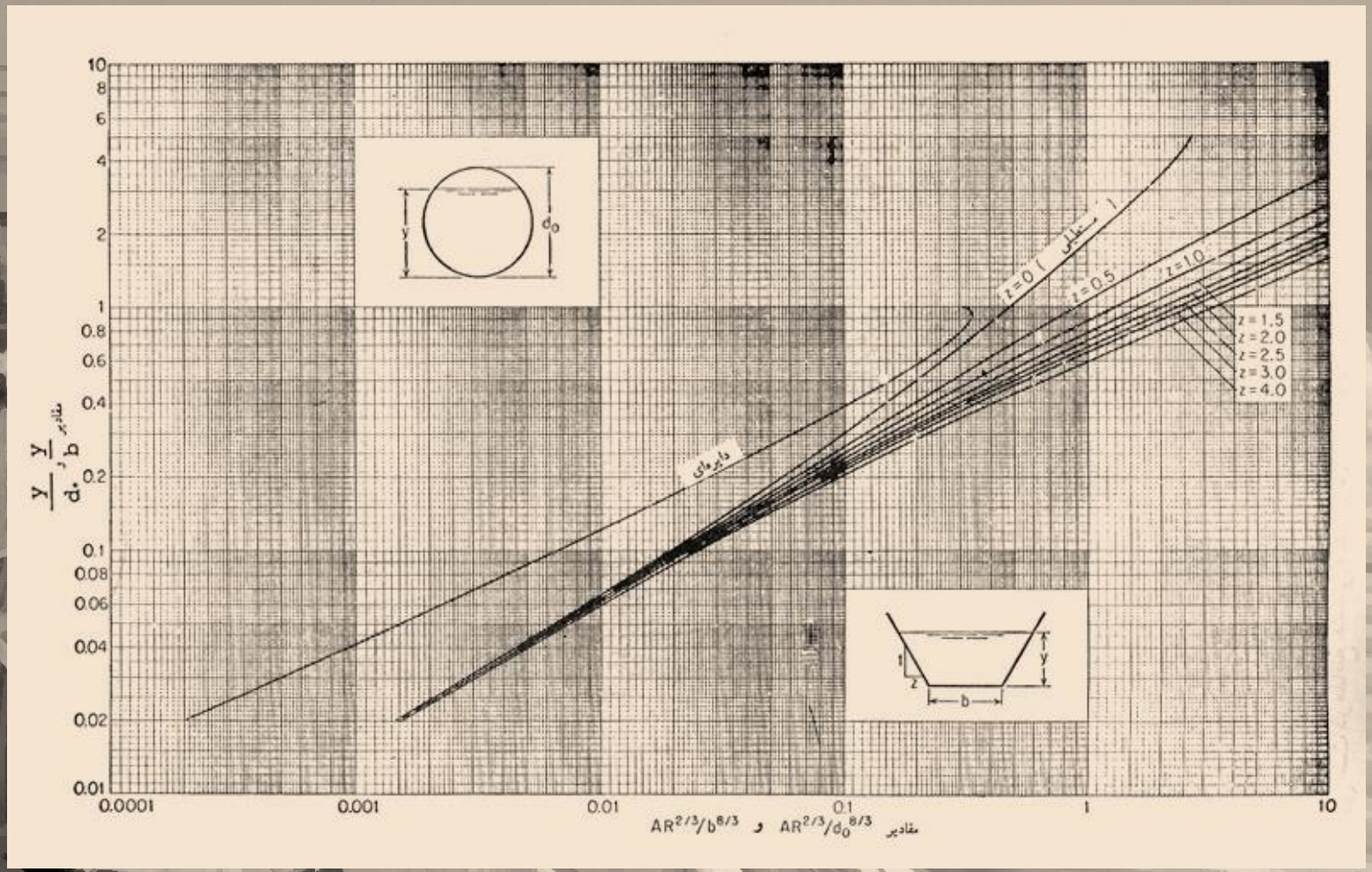
– براي كانال مشخص (ثابت بودن m , b) فقط تابعي از y است : $AR^{\frac{2}{3}}=f(y)$

– اگر رابطه ي را به صورت بي بعد تبديل كنيم :

$$\Phi=\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}}=\frac{nQ}{\sqrt{S_0}b^{\frac{8}{3}}}$$

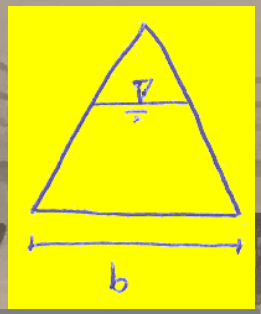
– شكل نشان مي دهد كه براي $m\geq 0$ تنها يك مقدار $\frac{y}{b}$ براي هر مقدار Φ وجود دارد. بنابراين براي هر مقدار Q فقط يك عمق يكنواخت اتفاق مي افتد. به اينگونه كانال ها «كانال نوع ۱» مي گوييم.

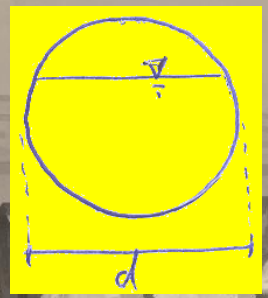
نمودار کانال نوع ۱



محاسبه جریان یکنواخت

- کانال نوع ۲
(closing width top)



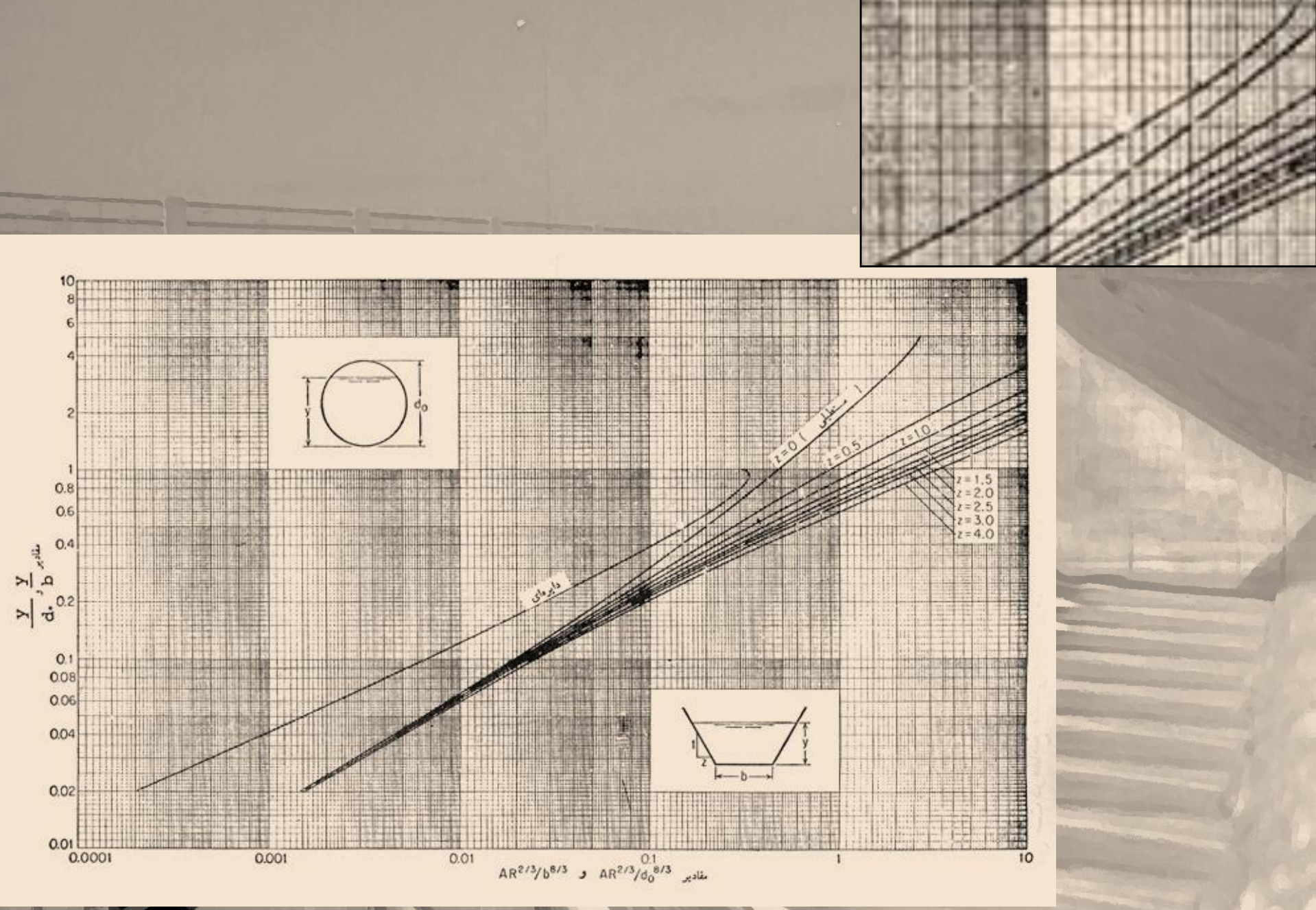


$$\Phi = \frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}} = \frac{nQ}{\sqrt{S}\,b^{\frac{8}{3}}}$$

$$\Phi = \frac{AR^{\frac{2}{3}}}{d^{\frac{8}{3}}} = \frac{nQ}{\sqrt{S_0}\,d^{\frac{8}{3}}}$$

– با افزایش عمق عرض کانال کاهش مي یابد.

– می بینیم که برای $\frac{y}{d} > 0.82$ دو عمق یکنواخت رخ می دهد. پس در طراحی همیشه برای ماکزیمم عمق مورد نیاز هیچ گاه نمی گذاریم که نسبت عمق به قطر از ۸/۰ تجاوز کند.در غیر این صورت جریان بین دو عمق تغییر می کند. در نقاطی از کانال، کانال کاملاً با آب پر می شود و انتقال هوا صورت نمی گیرد. حرکت بسته های هوا باعث ضربه زدن به کانال می گردد.این پدیده می تواند باعث کاهش دبی گردد.


y/d₀ , y/b مقادیر
AR^{2/3}/b^{8/3} و AR^{2/3}/d₀^{8/3} مقادیر
دایره‌ای
مثلثی
z=0
z=0.5
z=1.0
z=1.5
z=2.0
z=2.5
z=3.0
z=4.0
y
d₀
b
z
1

روش های محاسبه عمق یکنواخت

- کانال مستطیلی عریض Wide Rec. Channel

$$Lim_{y/p \to 0} R = \frac{A}{P} \to y_0 \to y_0 = \left(\frac{qn}{\sqrt{S}}\right)^{\frac{3}{5}}$$

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{Qn}{\sqrt{S_0}} \Rightarrow y = y_0$$

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}} = \frac{Qn}{\sqrt{S}\, b^{\frac{8}{3}}} = \frac{(1+m\eta_0)^{\frac{5}{3}}(\eta_0)^{\frac{5}{3}}}{[1+(2\sqrt{m^2+1})]^{\frac{2}{5}}} = \Phi(\eta_0, m)$$

– جدول هایی محاسبه شده است که مقدار Φ را برای مقادیر η_0

– از ۰/۱ تا ۴ و برای m از ۰/۱ تا ۳ می دهد.

مقطع هیدرولیکی بهینه

- مقطع هیدرولیکی بهینه : (Hydraulically Efficient Channel Section)
  - ضریب انتقال یک مقطع در یک کانال با A ثابت (مساحت جریان)، با کاهش P ، افزایش می یابد و در نتیجه Q زیاد می شود.

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{Qn}{\sqrt{S_0}} \longrightarrow Q = \frac{\sqrt{S_0}}{n} \cdot \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

  - بنابر این مقطعی که با ثابت A کمترین P را داشته باشد، بیشترین دبی را از خود عبور می دهد و بهترین مقطع هیدرولیکی نامیده می شود.به عبارت دیگر با داشتن دبی ثابت برای حداقل شدن A باید P هم حداقل باشد.

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{Qn}{\sqrt{S_0}} \longrightarrow \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} = cte$$

  - بین مقاطع با شکل هندسی متفاوت، بهترین حالت نیم دایره است

مقطع مستطیلی و ذوزنقه ای

- مقطع مستطیلی:

$$A = by \longrightarrow cte$$

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

$$\frac{dP}{dy} = -\frac{A}{y^2} + 2 = 0 \Rightarrow A = 2y_e^{\,2} \Rightarrow \left\{ y_e = \frac{b_e}{2} \quad , \quad R_e = \frac{y_e}{2} \right\}$$

- مقطع ذوزنقه ای

$$A = (b + my)(y) \longrightarrow b = \frac{A}{y} - my$$

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

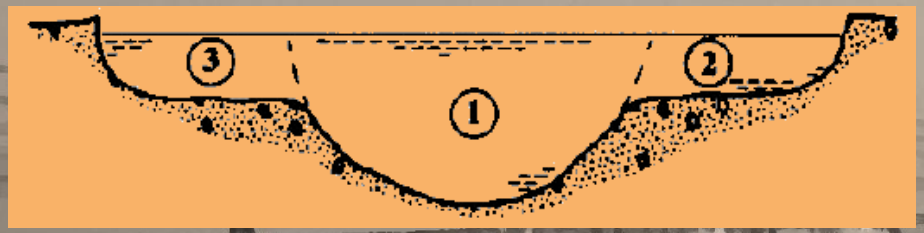
– اگر m ثابت باشد:

$$\bullet \rightarrow \frac{dP}{dy} = 0 \Rightarrow \cdots \Rightarrow \left\{ b_e = 2y_e\left(\sqrt{m^2 + 1} - m\right), \; R_e = \frac{y_e}{2} \right\}$$

اگر m متغیر باشد:

$$\bullet \rightarrow \frac{dP}{dm} = 0 \Rightarrow \cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} m_{em} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \cot(\theta_{em}) \, , \; \theta_{em} = 60^\circ \\ P_{em} = \frac{2}{\sqrt{3}} y_{em} \quad , \quad b_{em} = \frac{2}{\sqrt{3}} y_{em} \quad \rightarrow \quad A = \sqrt{3} y_{em}^{\,2} \end{array} \right\}$$

مقطع مرکب (Compound Section)



- مقطع مرکب (Compound Section)
  - استفاده یکجا از معادله مانینگ مشکل ایجاد می کند.
  - در غیر این صورت می توانیم از معادله مانینگ استفاده کنیم.
  - مشکل ایجاد شده این است که دبی مقداری کمتر از دبی حقیقی به دست می آید.
  - به ۲ روش دبی را از معادله مانینگ محاسبه می کنیم:
    - کل مقطع را یک مقطع در نظر می گیریم
    - مقطع را به چند زیر مقطع تبدیل می کنیم.
    - خط چین ها را به عنوان محیط خیس شده مقطع ۱ در نظر می گیریم. هر کدام از دبی های بالا که بزرگتر باشد می پذیریم.

محدودیت ها

- محدودیت هایی که باعث می شوند نتوانیم بهترین مقطع هیدرولیکی داشته باشیم:
  - محدودیت های فنی: تعدی از کران های بالا و پایین سرعت مجاز
  - محدودیت های اجرایی و اقتصادی

فصل ٦

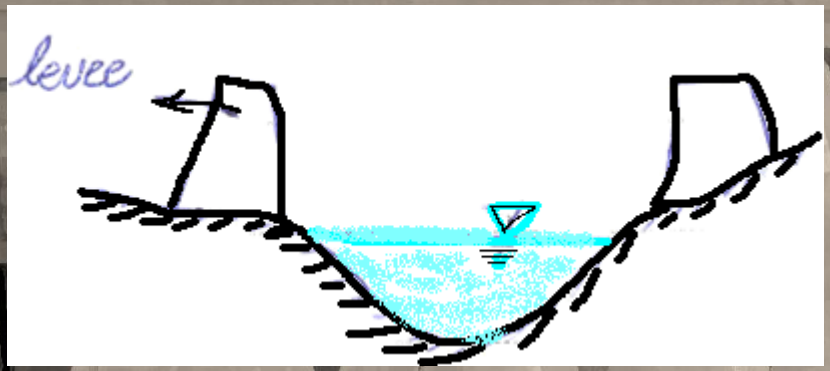
جريان متغير تدريجي - مفاهيم

كنترل : يك رابطه در كانال است كه بين عمق و دبي رابطه برقرار مي‌كند. كنترلها در كانالهاي باز موجب مي‌شوند كه جريان در طولي از كانال از حالت يكنواخت خارج شده و به حالت غيريكنواخت تبديل گردد.

به عنوان مثال شكستگي در بستر: در بسيار بالا دست و بسيار پايين دست جريان يكنواخت است. (به دليل شيب ملايم)، همين طور محل ريزش آزاد آب

ضرورت جریان غیر یکنواخت

- ضرورت جریان غیر یکنواخت :
  - مدیریت سیل در رودخانه:
    - احداث سیل بند *Levee*
    - پهنه بندي سیل *Flood Zoning*
    - بیمه سیل



  - دو شیوه براي کنترل سیل:
    - سازه اي *(structural)*: مانند دیزل بند.
    - غیر سازه اي *(non –structural)* : پیش‌بیني سیل

با پیش‌بیني سیل مي‌توان به مردم هشدار و آماده باش داد، از طرفي مي‌توان مخزن را تخلیه نمود.

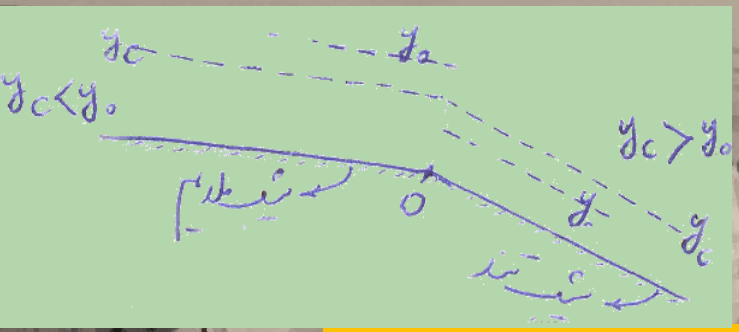
$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \frac{dH}{dx} = \frac{d}{dx}\left(z + y + \frac{V^2}{2g}\right) = -S_f \ (\textit{Friction Slop}) = -\frac{V^2}{C^2 R}$$

$$\frac{d}{dx}\left(y + \frac{V^2}{2g}\right) = -\frac{dz}{dx} - S_f \Rightarrow \frac{dE}{dx} = S_0 - S_f \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dy} = 1 - Fr^2 \ , \ \frac{dE}{dx} = \frac{dE}{dy} \cdot \frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{dy}{dx}(1 - Fr^2) = S_0 - S_f \quad (2)$$

- تعريف:
  - شيب ملايم *(Mild slope)*: شيبي است كه جراين يكنواخت روي آن، زير بحراني باشد.
  - شيب بحراني *(critical slope)*: جريان يكنواخت بحراني
  - شيب تند *(steep slope)*: جريان يكنواخت فوق بحراني اين مفاهيم هيدروليكي هستند.
    - y_c: عمق بحراني – y_o: عمق يكنواخت

- نوع شيب به ميزان زيادي به زبري كانال و به ميزان كمي به دبي كانال بستگي دارد.
  - $y_c^{3/2} \propto q$: جريان بحراني در كانال مستطيلي
  - $q \propto y_0^{5/3}$ معادله مانينگ در كانال مستطيلي عريض.
  - از تشابه نزديك بين توان ها: $5/3 \cong 3/2$ مي فهميم كه ميزان كمي به دبي بستگي دارد.
  - بنابراين در كانال مستطيلي عريض داريم $S = 21.3n^2q^{-2/9}$
  - اگر شيب بيشتر از اين مقدار باشد، شيب تند و اگر كمتر باشد شيب ملايم است.



- يك حالت وقوع جريان بحراني:
  - ثابت مي كنيم در 0 جريان بحراني است.
  - كانال طويل است.
  - حالت $S_0=S_f$ در در نظر بگيريد.

$$(2) \Rightarrow \frac{dy}{dx}(1-Fr^2)=S_0-S_f \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{dy}{dx}=0 \\ Fr=1 \end{cases}$$

پس جريان يكنواخت است.

- پس مصداق فيزيكي $\dfrac{dy}{dx}\neq 0\,,Fr=1\,,S_0=S_f$ چيست؟

- جريان در فاصله زيادي در بالادست نقطه 0، يكنواخت و زير بحراني است.
- جريان در فاصله زيادي در پايين دست نقطه 0 يكنواخت و فوق بحراني است.

– پس جريان ناگزير است در نقطه اي از مسير خود از حالت بحراني عبور كند كه اين نقطه فعلاً معلوم نيست.
نقطه o را به صورت قوس كوتاهي در نظر مي گيريم.

– در قسمتي از منطقه انتقالي (غيريكنواخت)

- در بالادست نقطه o :

$$y < y_0 \Rightarrow V > V_0 \qquad [Q = AV] \Rightarrow [Chezy] \quad S_f > S_0$$

- در پايين دست نقطه o :

$$y > y_0 \Rightarrow V < V_0 \qquad [Q = AV] \Rightarrow [Chezy] \quad S_f > S_0$$

- پس در منطقه انتقالي نقطه اي وجود دارد كه $S_f=S_0$؛ و چون $\frac{dy}{dx} \neq 0$ ، لزوما $Fr=1$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \qquad (3)$$

F_r , S_f هر دو توابعي از عمق هستند.

طبقه بندي پروفيلهاي طولي

- طبقه بندي پروفيلهاي طولي : بررسي كلي
  - از معادله (۳) شكل كلي پروفيلها را مي‌توان استنتاج نمود. علامت صورت و مخرج چگونگي تغيير علامتها را با y بررسي مي كنيم.

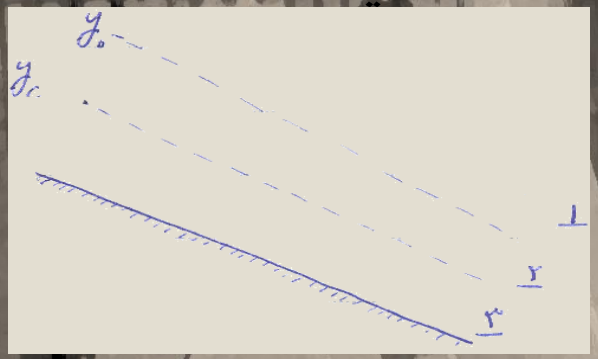
$$S_f = \frac{V^2}{C^2R} = \frac{Q^2}{C^2A^2R} = \frac{Q^2P}{C^2A^3} \ , \ Fr^2 = \frac{V^2B}{gA} = \frac{Q^2B}{gA^2}$$

  - مشاهده مي‌شود كه براي مقدار مشخص Q، نحوه تغييرات S_f و Fr^2 با عمق جريان (y)، تقريباً يكسان است. چرا كه P، بخصوص در كانالهاي عريض تفاوت چنداني با B ندارد.
  - از آنجا كه S_f و Fr^2 به شدت به A^{-3} بستگي دارند، با افزايش y، كاهش مي يابد و برعكس.
  - با توجه به تعريف جريان يكنواخت $(S_f=S_0 , y=y_0)$ و جريان بحراني $(y=y_c$ $,Fr=1)$ نتيجه مي گيريم:

$$S_f \geq S_0 : y \leq y_0 \qquad (4)$$

$$Fr \geq 1 \quad : y \leq y_c \qquad (5)$$

- پروفيلهاي شيب ملايم:
  - خطوط عمق بحراني و عمق نرمال، ۳ ناحيه ايجاد مي‌كنند.



۱و ۲: زير بحراني

۳: فوق بحراني

- ناحيه ۱ : $y > y_0 > y_c \xrightarrow{(4)} S_f < S_0 \xrightarrow{(5)} Fr < 1 \xrightarrow{(3)} \frac{dy}{dx} > 0$
- ناحيه ۲: $y_0 > y > y_c \xrightarrow{(4)} S_f > S_0 \xrightarrow{(5)} Fr < 1 \xrightarrow{(3)} \frac{dy}{dx} < 0$
- ناحيه ۳: $y_0 > y_c > y \xrightarrow{(4)} S_f > S_0 \xrightarrow{(5)} Fr > 1 \xrightarrow{(3)} \frac{dy}{dx} > 0$