

هیدرولیک کانال‌های باز:

- سرفصل‌ها:
- فصل اول: اصول و مفاهیم اولیه هیدرولیک
 - فصل دوم: اصل انرژی در کانال‌های باز
 - فصل سوم: اصل اندازه حرکت
 - فصل چهارم: جریان حرکت
 - فصل پنجم: جریان متغیر تدریجی

فصل اول: اصول و مفاهیم اولیه هیدرولیک

مقایسه جریان در کانال‌های باز و مجاری تحت فشار

حلب دوم

مکان مورد استفاده از مفهیم انرژی مخصوص

تفسیر ارتفاع کانال
تفسیر عمق مقطع کانال

۵ ۴ ۳ ۲ ۱

$$y_1 = 1$$

$$y_2 = 2$$

$$b = 10 \text{ m}$$

$$h_p = 0$$

$$Z_1 = Z_2 = 0$$

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

$$1 + \frac{V_1^2}{2g} = 2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

از طرفی چون فقط ارتفاع کانال تغییر کرده است تغییر در دبی در یک کانال ایجاد نشده است. بنابراین

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$1 \times 10 \times V_1 = 2 \times 10 \times V_2$$

$$V_2 = 0.5 V_1 \quad (2)$$

کتر دبیله شماره (2) را در رابطه شماره (1) قرار دهیم در این صورت خواهیم داشت

$$1 + \frac{V_1^2}{2g} = 2 + \frac{(0.5 V_1)^2}{2g} \Rightarrow V_1 = 2.18 \text{ m/s}$$

$$Q = A_1 V_1 = 2.18 \times 10 = 21.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

دبی جریان عبور از کانال

No.....

Date.....

مسئله
اولین کاربرد معادله انرژی تحلیل کانال در اثر تغییر ارتفاع کف کانال
کانال مستطیلی با عرض b و دی Q در سید کانال یک برآمدگی با

سطح ΔZ
تفسیرات سطح آب یا عمق جریان درین اسیرن به مانع!

$$H_1 = H_2 \quad \text{عمق جریان همیشه یکسان؟}$$

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta Z \quad (3)$$

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow v_1 y_1 b_1 = v_2 y_2 b_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$A_1 = y_1 b_1$$

$$A_2 = y_2 b_2$$

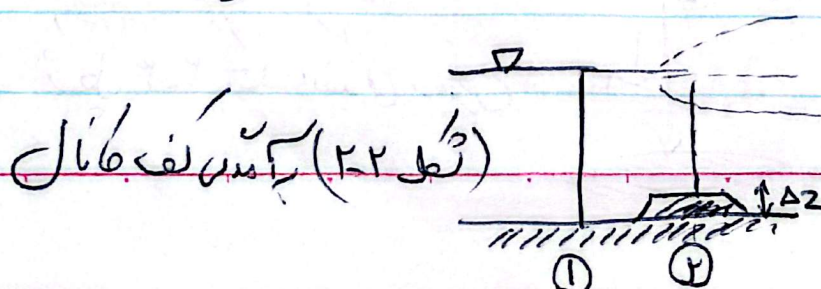
$$\frac{Q}{b} = q \Rightarrow v_1 y_1 = v_2 y_2 = q \quad (4)$$

که دی بر واحد عرض

با جایگزینی رابطه (4) در رابطه (3) خواهیم داشت

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} + \Delta Z$$

با معلوم بودن q و ΔZ و y_1 سه جواب — برای y_2 داریم
یکی منفی، دفاقد استبرار و دومی مثبت باید از نظر منطقی تحلیل شود.



دومین کاربرد معادله انرژی برای جریان در حالت تقسیر عرضی کانال

No

فرض کنیم عرض یک کانال مستطیلی را که به نسبت لاریکن جریان

Date

دارد به دو بخش تنگ تر شود از طایفه با تقطیل دهیم.

برای تعیین عمق جریان در محل تنگنای موضعی معادله انرژی به فرم زیر قابل استفاده است.

$$H_1 = H_2$$

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

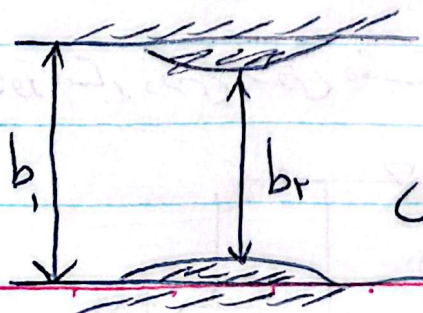
$$q_1 = v_1 y_1 = \frac{Q}{b_1}$$

$$q_2 = v_2 y_2 = \frac{Q}{b_2}$$

$$y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^3} = y_2 + \frac{q_2^2}{2gy_2^3}$$

در این حالت با مشخص بودن q_1 و q_2 و y_1 باز هم سه جواب

برای y_2 پیدا می شود. تنگنای موضعی داریم که باید بررسی کنیم کدام قابل قبول است.



شکل ۲-۳- تنگ شدن در عرض

در تحلیل فنیکی باری از مثل قائده در کاربرد توفیق داده

No.

Date

تفسیر ارتفاع کف کانال و تفسیر عرض کانال براساس کرن

موضوع از مفهوم انرژی مخصوص استفاده می شود.

که تعریف انرژی مخصوص را هماد کلید حل باری از مثل هیدرولیکی است. انرژی مخصوص را با E نشان می دهند.

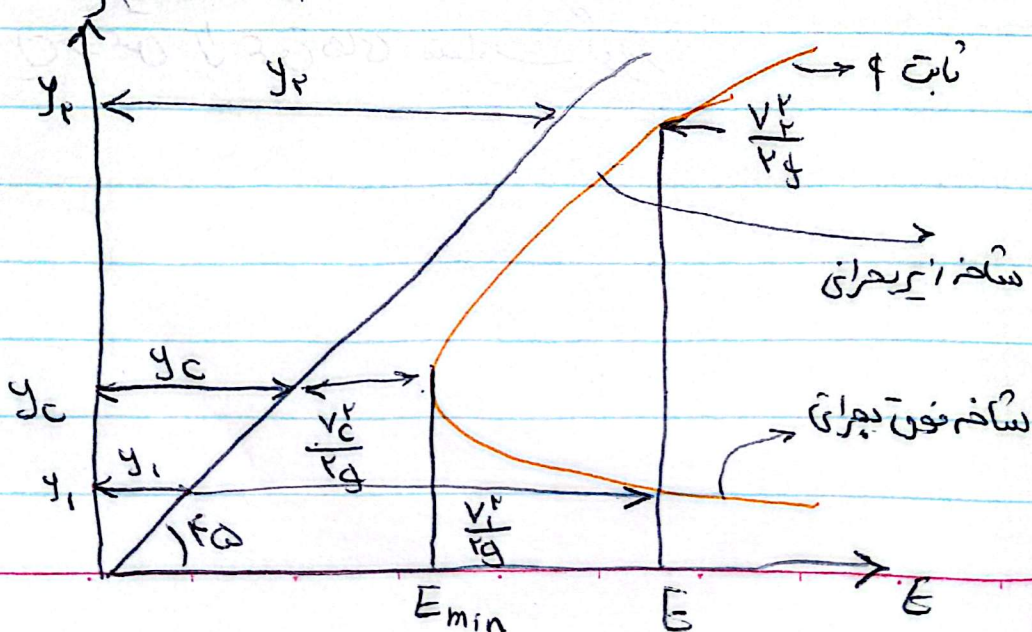
• چنانچه جریان با شدت ثابت Q در کانال مستطیلی به عرض y ثابت و سطح کم برقرار باشد، با توجه به تعریف انرژی مخصوص می توان نوشت:

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^3}$$

$$(E - y)y^3 = \frac{q^2}{2g} = \text{ثابت} \quad (5)$$

با استفاده از رابطه (5) می توان مقدار E را نسبت به y برای یک مقدار

Q ثابت و g رسم کرد. (مشتق انرژی مخصوص بر حسب عمق جریان)



در منحنی منصف قبل با افزایش h از سرعت کار می شود برای هیچ
صحنه در h های بزرگ جریان زیر بحرانی و در h های کوچکتر از h_c

جریان فوق بحرانی می شود

h_c عمق بحرانی است و E_{min} انرژی مخصوص خاصه بحرانی است
که از راجع زیر به دست می آید.

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} h_c = E_c$$

نکته مهم منحنی انرژی مخصوص در این است که به ازای هر انرژی
مخصوص دو عمق جریان به وجود می آید که یک عمق بزرگتر از عمق بحرانی

و یک $(h_1 > h_c)$ خاصه زیر بحرانی گفته می شود

و یک عمق کوچکتر از عمق بحرانی است $(h_2 < h_c)$ خاصه
فوق بحرانی گفته می شود.

این دو عمق را عمق های متضاد گویند

No

Date

$$Q = 20 \frac{m^3}{s}$$

حل مثال ۲-۲

$$b = 10$$

خواسته های سوال

$$y = 1.4 m$$

① رسم منحنی $E-y$

② وضعیت جریان

③ عمق متناوب

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{20}{10} = 2 \frac{m^3}{s.m}$$

$$E = y + \frac{v^2}{2g} = y + \frac{K}{2gy^2} = y + \frac{K}{4y^2} \quad (9)$$

$$y_c = \left(\frac{K}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{K}{9.81} \right)^{1/3} = 1.741$$

$$E_c = E_{min} = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \times 1.741 = 1.112 m$$

بنابر این اگر عمق $y_1 = 1.4 m$ باشد چون $y_1 < y_c$ است

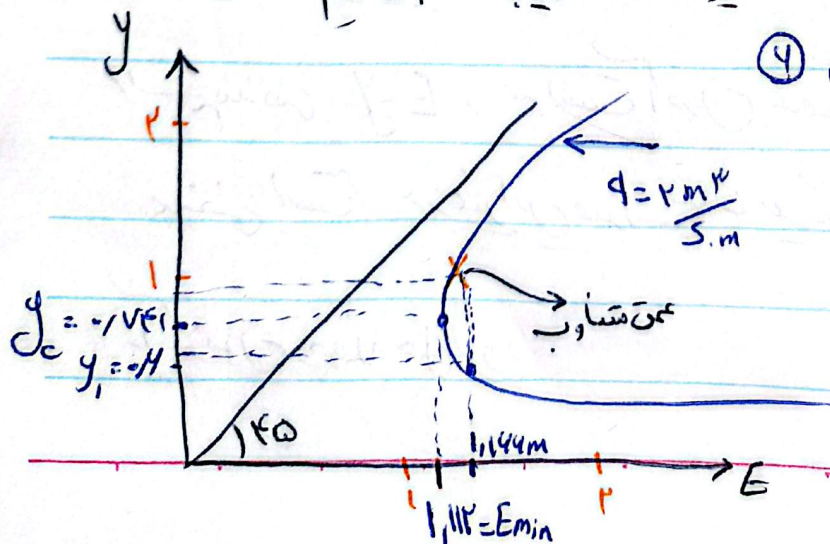
جریان در وضعیت منحنی بحرانی قرار دارد.

طریقه رسم: برای رسم ابتدا عمده کشیده پسین حدف ۴۵ را رسم کرده نقطه بحرانی را در عمده کشیده و سایر نقاط تقریبی رسم می کنیم

باجانگاری از $y = 1.4$ در رابطه (۹)

$$E = y + \frac{K}{4y^2} = 1.4 + \frac{K}{4 \times (1.4)^2}$$

$$E = 1.144 m$$



همان طور که قبلاً گفته بودیم یکی از ویژگی‌های مقدار منفی انرژی

مخصوص این است که به اندازه یک E یکسان در مقدار L

داریم که یکی در ناحیه فوتو یونی و دیگری در ناحیه زیر یونی

مکرر دارد بنابراین حتماً توانیم به عنوان یک سیم به است
آوردن عمق مناسب به در حالت پاسخ دهید.

اول از طرف مقدار $E = 1.144 \text{ m}$ را در می‌گذاریم امتداد می‌دهیم

مقدار L را در نقطه $y_2 = .94$ به طور تقریبی قلم می‌کنیم

در همین ادس با استفا ده از مقدار است

$$E_1 = E_2 = 1.144 = y_2 + \frac{4}{29y_2^2}$$

↓ این یک معادله درجه سوم است که باید
با آزمون و خطا حل شود

(توجه: برای به است آوردن عمق مناسب بهترین روش)

الگوریتم منفی $L-E$ به است آوردن عمق مناسب از

منفی است در غیر این صورت باید یک معادله درجه سوم

با آزمون و خطا حل شود.

حال که اساس کار انرژی مخفی و منفی انرژی را می‌توانیم

No

Date

ایم به حل دو کاربرد معصوم می‌پردازیم.
اولین کاربرد تحلیل جریان ناشی از یک سرآمدی (تغییر ارتفاع) فاصله

با استفاده از منفی E می‌پردازیم.

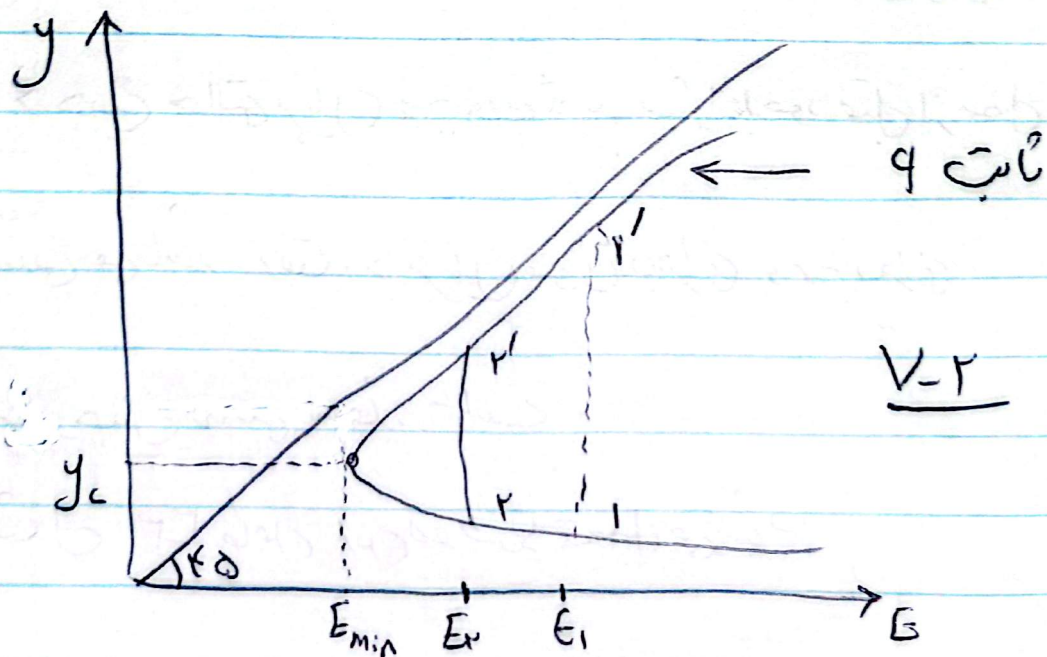
$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} + \Delta Z$$

$$E_1 = E_2 + \Delta Z \quad E_2 = E_1 - \Delta Z$$

یعنی منحنی حرکت از مقطع (۱) به مقطع (۲) انرژی مخفی

به مقدار ΔZ (ارتفاع ثابت) کاهش پیدا کرده است.

این کاهش انرژی مخفی در شکل ۷-۲ بر روی منحنی E به این شکل ثابت (بررسی شود)



برای تحلیل جریان در این نمودار دین حالت چندگانه مهم است.

۱- در صورتی که وضعیت جریان قبل از برآمدن زیر بحرانی باشد

(عمق ۱) این عمق به ۲ تبدیل می شود و خاص عمق داریم

۲- اگر وضعیت جریان قبل از برآمدن فوق بحرانی باشد عمق ۱

به عمق ۲ تبدیل و افزایش عمق داریم

۳- جهش از یک بخش منحنی به بخش دیگر داریم چون فرض عدم

تغییر را داریم.

۴- در صورتی که ارتفاع برآمدگی Δz به گونه ای باشد که E_2 از E_{min}

کمتر شود در این صورت هیچ نقطه ای از منحنی جواب مسئله نخواهد

بود در چنین حالتی جریان صحیح به تغییر شرایط خود قبل از محل

برآمدگی می باشد و در جریان فوق بحرانی و زیر بحرانی

در برابر چنین مانعی متفاوت است.

در مثال ۳-۲ کامل این موضوع تحلیل می شود.

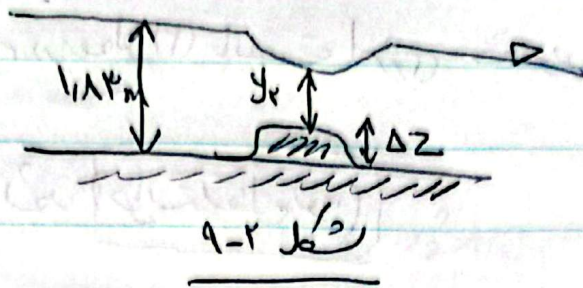
$$Q = 4,91 \frac{m^3}{s}$$

No.

Date

$$y_1 = 1,83 m$$

$$b = 3,05 m$$



خواسته های سوال :

الف) حداقل ارتفاع سرآمدی حیدر باشد تا عمق آب برابر عمق بحرانی شود

ب) میزان افت در سطح آب را هنگامی که ارتفاع سرآمدی نصف حالت الف باشد.

ج) مقدار آل را در صورتی که ارتفاع سرآمدی در برابر حالت الف باشد.

انف) ابتدا وضعیت جریان قبل از سرآمدی و مقدار انرژی مخصوص را در این حالت محاسبه می کنیم.

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{4,91}{3,05} = 1,61 \frac{m^3}{s.m}$$

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{(1,61)^2}{9,81} \right)^{1/3} = 1,025 m = y_2$$

باقی به اینک $y_1 > y_c$ است و وضعیت جریان قبل از سرآمدی

زیر بحرانی است.

مقدار انرژی مخصوص در مقطع (۱)

$$E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = 1.84 + \frac{4.25^2}{2 \times 9.81 \times (1.84)^2} = 1.99m$$

برای بحرانی شدن جریان در مقطع (۲) بایدست انرژی مخصوص

در این مقطع برابر E_{min} شود. (خواسته سوال بوده)

$$E_{min} = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \times 1.025 = 1.54$$

بنابراین باید با بردن مقدار انرژی در دو مقطع (۱) و (۲) مقدار

ΔZ_c حین خواهد بود

$$E_1 = E_2 + \Delta Z$$

$$E_1 = E_{min} + \Delta Z_c \Rightarrow \Delta Z_c = 1.99 - 1.54 = 0.45m$$

لذا اگر ارتفاع سرآب من $\Delta Z_c = 0.45$ و $y_c = y_2 = 1.025$ و $y_1 = 1.84$

باشد مقدار افت سطح آب در این حالت برابر است با

$$\Rightarrow \text{افت سطح آب} = y_1 - (y_2 + \Delta Z_c) = 1.84 - (1.025 + 0.45)$$

$$= 0.365m$$

ب) گشت ارفاع بر کمانی نصف حالت اول هست

No

Date

$$\Delta z = \frac{1.45}{2} = 0.725m$$

در این صورت عمق y_2 به جای y_1 به عمق بحرانی متغیر

پیشنهاد از y_c پیدا می کند و مطابق شکل (۲-۷) عمق y_1 به عمق y_2 تبدیل می شود.

$$E_2 = E_1 - \Delta z$$

$$y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} = 1.99 - 0.725$$

باز هم یک معادله درجه ۳ داریم که باید y_2 را با آزمون و خطا به دست آوریم اما می دانیم باید طوری باشد که $y_1 < y_2 < y_c$ شود.

$$y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} = 1.99 - 0.725$$

$$y_2 + \frac{(1.25)^2}{2 \times 9.8 y_2^2} = 1.265 \Rightarrow y_2 = 1.54m$$

$$y_1 - (y_2 + \Delta z) = 1.84 - (1.54 + 0.725) = 0.575m$$

$$E_2 = 1.265 > E_{min} = 1.54 \quad \text{نکته}$$

پس با توجه به این نکته می توانیم بگوییم y_2 به عمق پیشنهادی می رسد.

۱۰. در صورتی که افت پتانسیل برابر حالت الف شود

No

Date

$$\Delta Z = 2\Delta Z_C = 2 \times 0.45 = 0.9$$

در این حالت

$$E_{min} = E_C = 1.54 \quad \text{حالت حدیثی}$$

الف ب

$$E_2 = E_1 - \Delta Z_{min} = 1.84 - 0.9 = 0.94$$

$$E_2 < E_{min}$$

در این حالت انرژی مخصوص مقطع (۲) از انرژی مخصوص E_{min}

کمتر می شود و در نتیجه جریان کمتر از مقدار E_{min} ممکن نیست

لذا در چنین حالتی در صورتی که وفقت جریان از قبل مانع

از برپا شدن باشد انعکاس مانع به بالا است امکان پذیر خواهد بود

و جریان بالا است خود را با مانع هماهنگ می کند به عبارت دیگر

انرژی مخصوص در قبل از برآمدگی به مقدار انرژی دریا به

با افت انرژی عمق (۱) که عبور جریان از مقطع ۲ با حداقل انرژی مخصوص

E_{min} ممکن می گردد لذا در این حالت جریان در برآمدگی یعنی

مقطع ۱ بجای ۲ در نظر گرفته می شود

نکته: افت انرژی عمق ۱ را با افت انرژی دریا

بسیار در چنین وضعیت که به آن انسداد گسترده گفته می‌شود $y_2 = y_c = 1.045$

No.

Date

خواهد بود و مقدار عمق y_1 به y_1' افزایش می‌یابد

که باید این افزایش عمق را دوباره حل کنیم

$$E_1' = E_2 + \Delta Z$$

$$E_1' = E_{min} + \Delta Z$$

$$E_1' = 1.54 + 0.9 = 2.44 \text{ m}$$

$$E_1' = y_1' + \frac{q^2}{2g(y_1')^3} = 2.44$$

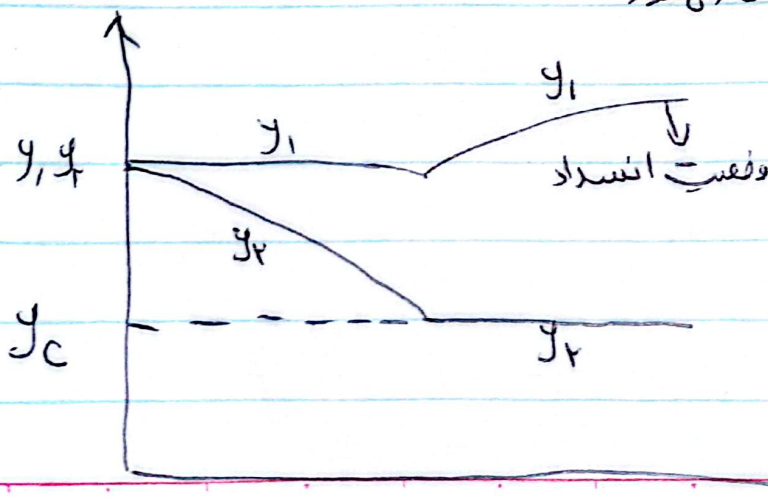
$$y_1' + \frac{(1.25)^2}{2 \times 9.81 (y_1')^3} = 2.44$$

در این حالت $y_1' > y_1$ می‌باشد جواب با حل معادله درجه ۳ و

آزمودن حتما

$$y_1' = 2.35 \text{ m به دست می‌آید}$$

ملاحظات تعدادی نمودار



ولی از نظر فنی می توان افسس کرد که هر انسداد یا گرفتگی

پس از روشن شدن از مایع رعت بیشتر و عمق کمتری می رسد

چنان به عمق بحرانی (عمق متناوب γ_1) تبدیل می شود

با توجه به اینکه وضعیت جریان بعد از عبور از برآمدگی در حالت

عمق بحرانی می باشد، می توان انتقال را دست که جریان جهت رسیدن

به وضعیت اولیه خود (بزرگست به حالت زیر بحرانی) با پرسش

هیدرولیکی همراه خواهد بود

در حقیقت وجود پرسش هیدرولیکی بعد از برآمدگی دلالت بر

وجود انسداد و نیز شکلگیری عمق بحرانی روی سرآمدگی دارد

جریان ناشی از تنگنای موضعی در کانال مستطیلی

No.

Date .

$$Q = 14 \frac{m^3}{s}$$

$$y_1 = 2m$$

$$b = 4m$$

$$y_2 = 3.5$$

$$\Delta z$$

حل: این مسئله حائز اهمیت است اما با این تفاوت حل می شود

که دو اثر یک تغییر عرض کانال و دوم تغییر ارتفاع کانال برای می شود

که مسئله ما تنها تغییر در ارتفاع کانال با استفاده از یک برآوردی

موضعی را بررسی کردیم حال می خواهم اثر تغییر عرض کانال را هم

اضافه کنیم

همان طوری که قبلاً گفته بودیم اثر عرض کانال تغییر کند در جریان بر

واحد عرض کانال نیز تغییر می کند و این نکته کلیدی حل این سوال است

$$q_1 = \frac{14}{4} = \frac{4 \frac{m^3}{s.m}}{4}$$

$$V_1 = \frac{q_1}{y_1} = \frac{4}{2} = 2 \frac{m}{s}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = \frac{2}{\sqrt{9.8 \times 2}} = 0.45 < 1$$

موضع جریان

نیز جریان

$$(y_c)_1 = \left(\frac{q_1^2}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{14^2}{9.81} \right)^{1/3} = 1.178 \text{ m}$$

$$E_{min,1} = \frac{3}{2} \times 1.178 = 1.767 \text{ m}$$

$$E_1 = y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = 3 + \frac{14^2}{2 \times 9.81 \times 3^2} = 2.2.4 \text{ m}$$

چون این عدد با تفسیر عرض همراه است مشخصات در مقطع
را این دست هم جدا حساب می کنیم

$$q_2 = \frac{14}{3.15} = 4.44 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

$$(y_c)_2 = \left(\frac{(4.44)^2}{9.81} \right)^{1/3} = 1.287 \text{ m}$$

$$E_{min,2} = \frac{3}{2} y_{c2} = \frac{3}{2} \times 1.287 = 1.93 \text{ m} \quad \Delta Z = 1.3 \text{ (حالت افت)}$$

$$E_2 = E_1 - \Delta Z = 2.2.4 - 1.3 = 1.104 = E_2$$

باتوجه به این که $E_2 > E_{min,2}$ است پس از روابط زغال مقدار

$$E_2 = y_2 + \frac{q_2^2}{2gy_2^2} = 1.104 \text{ m} \quad \text{پس رابطه دست می آید}$$

$$y_2 + \frac{(4.44)^2}{2 \times 9.81 \times y_2^2} = 1.104 \quad \text{که این حرفه} \quad y_2 = 1.575$$

باید در حوضه کمترین و حداکثر را حساب کنیم که $y_2 > y_c$ شود

حالت $\Delta Z = 1.35$

No.

Date . . .

$$E_2 = E_1 - \Delta Z = 2.204 - 1.35 = 1.854 < E_{min}$$

$$E_2 < E_{min}$$

$$1.854 < 1.93$$

در این حالت می دانیم که انتشار ریزش می دهد > نتیجه عمق y_2
در حد عمق $(y_c)_2$ تثبیت می شود، عمق y_1 به مقداری افزایش

پیدا می کند

$$y_2 = (y_c)_2 = 1.287 \text{ m}$$

$$E_2 = E_{2min}$$

$$E_2 = E'_1 - \Delta Z =$$

$$E_2 + \Delta Z = E'_1$$

$$1.93 + 1.35 = 2.28 = y'_1 + \frac{q^2}{2g(y'_1)^3}$$

$$2.28 = y'_1 + \frac{4^2}{2 \times 9.81 (y'_1)^3}$$

با حل آزمون خطا و گویا به این نتیجه می رسید $y'_1 > y_1$ نو

$$y'_1 = 2.04 \text{ با آزمون خطا}$$