الفصل الثالث
الجريان الحرج
Critical flow

1-3 مقدمة

يعتبر الجريان متغيراً عندما تكون خطوط الجريان في قناة غير متوازية فيما بينها. وفي هذه الحالة لا يكون السطح الحر موازياً لأرضية القناة ويحدث الجريان المتغير في الأقنية ذات المقاطع العرضية المتغيرة كالمجاري الطبيعية ويكون الجريان المتغير متسارعاً إذا ازدادت السرعة ويكون متباطئاً إذا نقصت السرعة.

حيث يمكن تصنيف الجريان المتغير كمايلي:

- الجريان المتغير تدريجياً: حيث تتغير معظم القيم الهيدروليكية تدريجياً من مقطع إلى آخر.
- الجريان المتغير بشكل مفاجئ: حيث تتغير معظم القيم الهيدروليكية فجأة كالسقوط الحر للماء.

2-3 الحمولة الكلية في مقطع الجريان Head:

تعرف الحمولة الكلية بأنها القدرة التي يحملها الوزن الواحدي من السائل الذي يجتاز المقطع وهي تعطى حسب برنولي مقدرة بارتفاع عمود من السائل الجاري الذي يجتاز المقطع شكل (3-1) بالعلاقة

$$H = z + y + \frac{\alpha\, v^2}{2\,g} = z + y + \frac{Q^2}{2\,g\,A^2} \qquad (1\text{-}3)$$

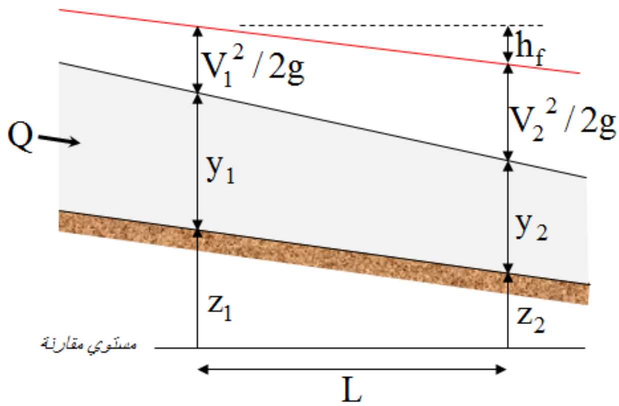
حيث:

z: ارتفاع قاع المقطع المعتبر عن مستوي المقارنة الأفقي وهو يوافق القدرة الكامنة.

y: عمق الجريان في المقطع و هو يوافق قدرة الضغط على القاع $\frac{P}{\gamma}$.

$\frac{V^2}{2.g}$: القدرة الحركية.

α: أمثال توزيع السرعة α تكون قريبة من الواحد ونشير إلى أننا سوف نهمل α في دراستنا القادمة.



شكل (1-3)

1-2-3 الحمولة على طول المجرى – ضياع الحمولة Headloss

بتطبيق علاقة برنولي، وعندما لا يحدث ضياع في القدرة فإن خط الحمولة يكون أفقياً. إلا أنه و بسبب الاحتكاك الذي يستهلك جزءاً من القدرة، فإن خط الحمولة يكون مائلاً أي هابطاً باتجاه الجريان. ويمكننا أن نكتب باعتبار مقطعين من قناة متباعدين بعداً محدوداً L شكل (1-3)

$$H_1 = z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2.g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2.g} + h_L = H_2 + h_L \qquad (2\text{-}3)$$

حيث يمكن أن نعتبر على طول الجزء المحدود المشار إليه:

$$h_L = J\,L \qquad (3\text{-}3)$$

نسمي J_e ميل خط الحمولة وهو بالتأكيد هابط باتجاه الجريان ويمكننا أن نكتب باعتماد علاقة شيزي:

$$\frac{h\,L}{L} = -J_e = -\frac{Q}{C^2 A^2 R_h} \qquad (4\text{-}3)$$

وباعتبار الضياع الحاصل هو ضياع بالاحتكاك

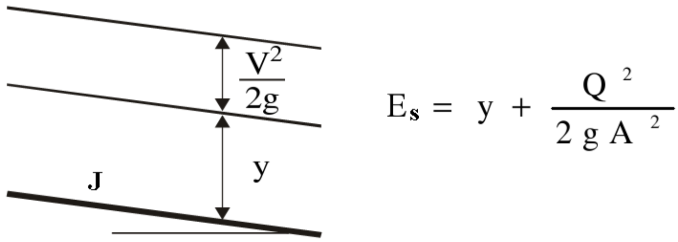
3-3 الحمولة النوعية Specific Energy E_s

يتعلق جزئياً تغير الحمولة على طول مجرى القناة بميل القاع باتجاه الجريان (أي بتغير الحد Z في علاقة الحمولة H مع المسافة) ولإزالة الصعوبة الناتجة عن هذا التأثير ما علينا إلا اعتبار الحمولة في المقطع منسوبةً لأخفض نقطة من قاعه (أي اعتماد مستوى مقارنة الأفقي ماراً من قاع المقطع المعتبر فهو متعلق به) فيكون:

$$H - Z = y + \frac{V^2}{2\,g} \quad \Rightarrow \quad E_s = y + \frac{V^2}{2\,g} \tag{5-3}$$

أي تعرف الحمولة النوعية في مقطع قناة بالقدرة في وحدة الوزن للماء الذي يجتاز المقطع مقاسةً بالنسبة لأرضية القناة شكل (2-3). حيث تبين هذه العلاقة أن الحمولة النوعية عبارة عن مجموع عمق الماء وارتفاع السرعة وبالتعويض عن V بـ $V = \frac{Q}{A}$ في المعادلة السابقة يكون:

$$E_s = y + \frac{Q^2}{2\,g\,A^2} \tag{6-3}$$



شكل (2-3)

1-3-3 تغير الحمولة النوعية مع العمق من أجل تدفق ثابت

تبين المعادلة (6-3) أنه لمقطع معين على امتداد القناة محدد شكله الهندسي وقيمة التدفق المار فيه Q فإن الحمولة النوعية E_s تتغير تبعاً لتغير قيمة عمق الجريان y

نلاحظ من دراسة العلاقة $E_s = y + \frac{Q^2}{2\,g\,A^2}$ ما يلي:

1. قيم الحمولة النوعية E_s موجبة دوماً ولا معنى عملي لكون العمق y سالباً.
2. إن للمنحني الممثل لتغيرات E_s بدلالة العمق خطين مقاربين.

- عندما

$$y \to 0 \Rightarrow A \to 0 \qquad\qquad E_s \to \frac{Q^2}{2\,g\,A^2} = \infty$$

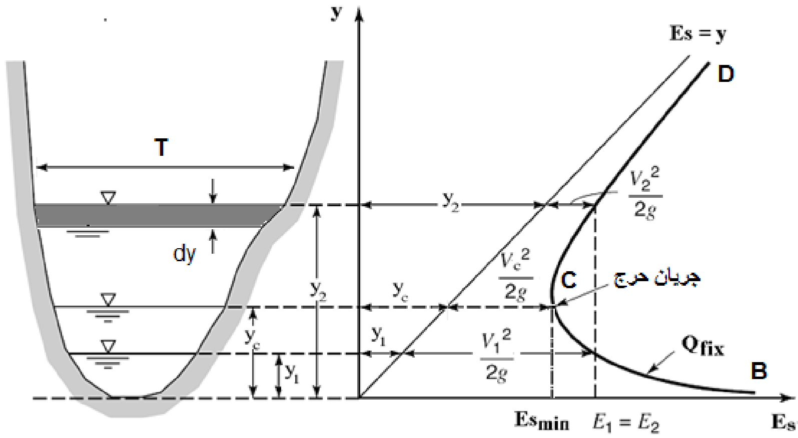
والخط المقارب يمثل هنا المحور الأفقي E_s

- عندما

$$y \to \infty \Rightarrow A \to \infty \qquad \frac{Q^2}{2\,g\,A^2} \to 0 \Rightarrow E_s \to (y = \infty)$$

والخط المقارب يمثل هنا مستقيم يميل بزاوية $45°$ أي ان ميله يساوي الواحد

وكما يوضح الشكل (3-3) فإن المنحني له فرعين أحدهما CB يتقارب مع المحور الأفقي محور E_s والفرع الآخر CD يتقارب مع الخط المستقيم المنصف للربع الأول



الشكل (3-3)

- المنحني الممثل لتغيرات E_s يبين أنه لقيمة محددة للحمولة النوعية E_s من الممكن أن يمر التدفق إما:
- عمق صغير y_1 مصحوب بقدرة حركية كبيرة.
- عمق كبير y_2 مصحوب بقدرة حركية صغيرة.

كل من هذين العمقين يقال أنه عمق متبادل للعمق الآخر Alternate depth

من المعلوم في الرياضيات أنه إذا أخذ تابع مستمر لمتحول مستقل $E_s = f(y)$ قيمة اللانهاية ∞ في الشروط الحدية فإن هذا التابع لابد أن يكون له قيمة أصغرية واحدة على الأقل في مجال تغيره من الصفر الى اللانهاية.

عند نقطة C تكون قيمة الحمولة النوعية أقل ما يمكن E_{smin} وتكون قيمة العمقين المتبادلين متساوية $y_1 = y_2$ وتساوي قيمة واحدة تسمى العمق الحرج y_c ويمكن إيجاد الشروط لتعيين العمق الحرج y_c باشتقاق المعادلة (6-3) تبعاً لـ y حيث Q ثابتة فينتج:

$$E_s = y + \frac{Q^2}{2\,g\,A^2}$$

$$\frac{dE_s}{dy} = 0 \qquad \Rightarrow \qquad 1 - \frac{(-2)Q^2}{2\,g\,A^3}\left(\frac{dA}{dy}\right) = 0 \tag{7-3}$$

بجوار السطح الحر يكون لدينا $dA = T\,dy$ أي أن $\frac{dA}{dy} = T$ وبالتالي فإن النهاية الصغرى لـ E_s تتحقق من أجل

$$\frac{Q^2\,T}{g\,A^3} = 1 \quad \text{أو} \quad \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \tag{8-3}$$

وبدراسة معمقة نتوصل للنتائج التالية:

3) العمق الموافق للنهاية الصغرى E_s من أجل تدفق معين هو العمق الحرج حيث:

$$\frac{Q^2\,T}{g\,A^3} = \frac{Q^2/A^2}{g\,A/T} = \frac{V^2}{g\,y_m} = F_r^2 = 1$$

$$\frac{dE_s}{dy} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{Q^2\,T}{g.A^3} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad y = y_C \tag{9-3}$$

$$y_1 = y_2 = y_C$$

2) من أجل حمولة نوعية $E_s > E_{s_{min}}$ يتم الجريان من أجل تدفق معطى Q بعمقين:

$y_1 < y_C$: عمق صغير مقرون بقدرة حركية كبيرة ويكون الجريان هنا فوق حرج (شلالي) $F_r > 1$

$y_2 > y_C$: عمق كبير مقرون بقدرة حركية صغيرة، ويكون الجريان هنا دون الحرج (نهري) $F_r < 1$

3) للمنحني $E_s = f(y)$ فرعان لانهائيان تفصلهما النقطة C الموافقة للحالة الحرجة.

المنحني الأول كما أسلفنا المقارب لمحور E_s يدعى الفرع الشلالي ويكون عندئذ:

$$y < y_C \quad \Leftrightarrow \quad -\infty < \frac{dE}{dy} < 0$$

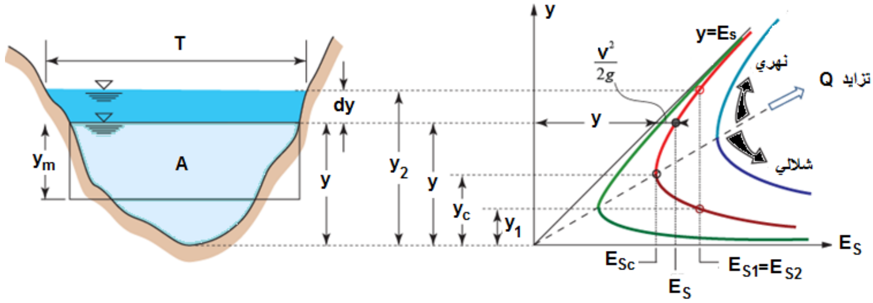
والآخر وهو المقارب لمنصف زاوية المحورين الداخلية ويدعى الفرع النهري ويكون عندئذ

$$y > y_C \quad \Leftrightarrow \quad 0 < \frac{dE}{dy} < 1$$

بينما في النقطة C ينطبق العمقان y_1, y_2 مع العمق الحرج

لا يمكن للجريان أن ينتقل من الحالة النهرية إلى الحالة الشلالية أو بالعكس دون المرور بالحالة الحرجة.

4) لا يتغير الشكل(3-4) العام للمنحني الممثل من أجل أية قيمة للتدفق (المعتبر ثابتاً) حيث تزداد تراتيب المنحني الممثل لـ $E_s = f(y)$ بازدياد التدفق والعكس صحيح.



الشكل (3-4)

يكون الخط الواصل بين ذرى المنحنيات الحاصلة من اجل مختلف قيم Q يمثل الحالة الحرجة وهو متزايد حتماً إذ يزداد بآن معاً العمق الحرج والحمولة النوعية الأصغرية عندما يزداد التدفق

5) العلاقات المستنتجة أعلاه لحالة الجريان الحرج تنطبق فقط إذا كان:

- الجريان متوازي أو متدرج التغير
- ميل قاع القناة ضعيف نسبياً
- أمثال توزيع السرعة يساوي الواحد

حيث اعتبرنا في الدراسة السابقة على أن عدد فرود $F_r = \dfrac{V}{\sqrt{g\, y_m}}$

وإن هذا الأمر لا يصلح من أجل الأقنية ذات الميل الضعيف حيث $\cos\theta \approx 1$ وبإهمال أمثال عدم انتظام توزيع السرع α.

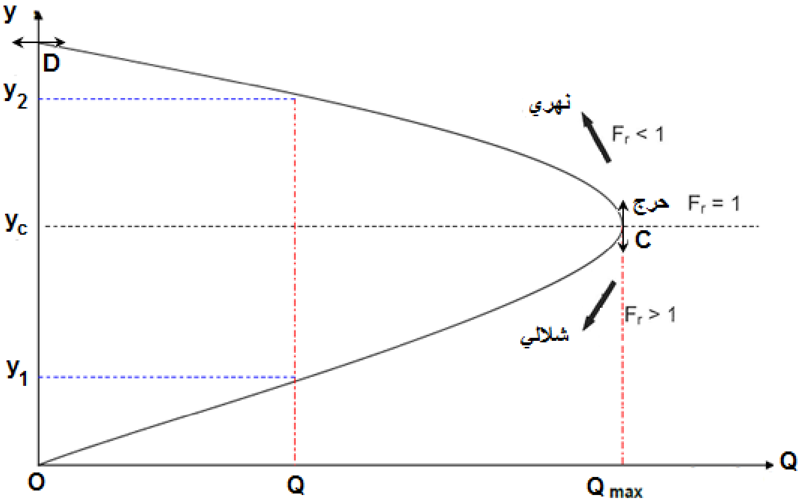
فإذا أردنا إدخال هذين العاملين في الاعتبار فإن: $F_r = \dfrac{V}{\sqrt{g\, y_m \dfrac{\cos\theta}{\alpha}}}$

3-3-2 تغير التدفق تبعاً للعمق من أجل حمولة نوعية ثابتة

من علاقة الحمولة النوعية $E_s = y + \dfrac{Q^2}{2.g.A^2}$ يمكن استنتاج تغير التدفق بالنسبة لعمق الماء من أجل حمولة نوعية ثابتة

$$Q = A\sqrt{2\,g\,(E_s - y)} \qquad (3\text{-}10)$$

ينعدم التدفق من أجل $E_s = y$ ومن أجل $y = 0$ أي $A = 0$ ويأخذ التدفق قيماً حقيقية موجبة حتماً بشرط أن تبقى $0 \le y \le E_s$ الشكل (3-5).



الشكل (5-3)

لندرس تحولات التابع $Q = f(y)$

- عندما

$$y \to 0 \quad \Rightarrow \quad A \to 0 \quad \Rightarrow \quad Q \to 0$$

- عندما

$$y = E_s \quad \Rightarrow \quad A \neq 0$$

ولكن : $Q = 0$

وما بين هاتين القيمتين الحديتين يمر التدفق حتماً بقيمة عظمى عند $\frac{dQ}{dy} = 0$

وبالاشتقاق نجد:

$$2(E_s - 1) = \frac{A}{T} = y_m$$

وبالاختصار:

$$\frac{Q^2\ T}{g\ A3} = 1 \qquad (11-3)$$

وهي نفس العلاقة (8-3) أي أن التدفق الأعظمي من أجل حمولة نوعية معينة يحصل أيضاً من أجل العمق الحرج y_C

ويمثل الشكل (5-3) المنحني العام للعلاقة $Q = f(y)$ وبدراسة معمقة لهذا المنحني نجد:

1) من دراسة تحولات المشتق

$$\frac{dQ}{dy}=\frac{2\,(E_s-y)\,T-A}{2\,\sqrt{2g\,(E_s-y)}}$$

نجد:

- عندما

$$y\to 0 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{2\,E_S\,T}{\sqrt{2\,g\,E_S}}>0$$

والمماس في المبدأ يصنع زاوية حادة مع كل من محوري الاحداثيات كما في الشكل (6-3)

- عندما

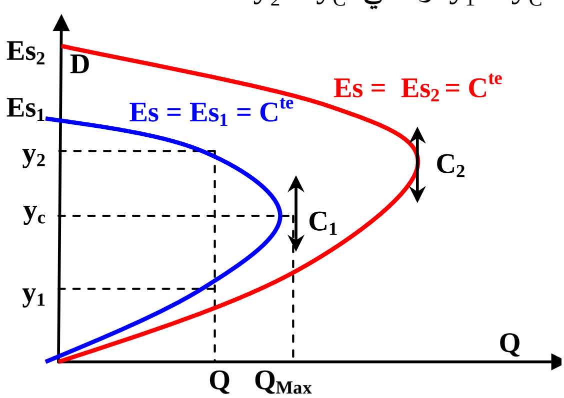
$$y\to E_S \qquad \Rightarrow \qquad \frac{dQ}{dy}\to\infty$$

والمماس T_D في D يوازي محور التدفقات و إن الميل ينتهي إلى اللانهاية بقيم متناقصة

- من الواضح أن المماس T_C في C يوازي محور التراتيب أو الأعماق

$$\frac{dQ}{dy}\to 0$$

2) من أجل حمولة نوعية ثابتة E_S وتدفق معلوم $Q<Q_{max}$ فإن الجريان يمكن أن يأخذ عمقين: الأول $y_1<y_C$ والثاني $y_2>y_C$



الشكل (6-3)

وللمنحني الممثل فرعان تفصلهما C الممثلة للحالة الحرجة.

الفرع الأول مرتبط بالمبدأ ويوافق الجريان الشلالي والفرع الثاني وهو المتعلق بالنقطة D ويوافق الجريان النهري.

1- لا يتغير الشكل العام للمنحني الممثل $Q = f(y)$ من أجل قيمة معينة لـ E_S تزداد تراتيب المنحني بازدياد قيمة E_S وتتناقص بنقصانها

هنا أيضاً نلاحظ أن الخط الذي يصل ذرى المنحنيات الممثلة من أجل قيم مختلفة ل E_S هو متزايد حتماً مع العمق إذ تتزايد معاً قيمتا العمق الحرج والتدفق الأعظمي الموافق بازدياد القدرة النوعية (المعتبرة ثابتة في كل مرة على حدة).

4-3 الجريان المنتظم الحرج

من الممكن أن يحدث الجريان عند مقطع جريان معين يسمى بالمقطع الحرج ومن الممكن أيضاً أن يكون الجريان المنتظم بحيث ان العمق على طول الجريان يساوي العمق الحرج وفي هذه الحالة يسمى الجريان جرياناً منتظماً حرجاً

1-4-3 الميل الحرج

لقناة عرف مقطعها الهندسي وكذلك قيمة التدفق المار فيها فإن العمق النظامي يمكن حسابه من قانون شيزي $Q = C\,A\,\sqrt{R_h\,J}$ ولكي يكون الجريان حرجاً يجب أن يتحقق الشرط:

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

والسؤال الذي يفرض الآن: ما هو الميل الذي يجب أن يعطى لقناة يجري فيها تدفق Q لكي يكون العمق النظامي حرجاً. و الجواب ينتج مباشرةً من دمج العلاقتين السابقتين أي:

$$Q^2 = C^2\,A_C^2\,R_h^2\,J_C = \frac{g\,A_C^3}{T_C}$$

ومنه:

$$J_C = \frac{g\,A_C}{C^2\,R_{h_C}\,T_C} = \frac{g\,(y_m)_C}{C^2\,R_{h_C}}$$

وباعتماد مانينغ وبتعويض قيمة C من العلاقة $C = \frac{1}{n}\,R_h^{1/6}$ نجد:

$$J_C = \frac{n\, g\, (y_m)_C}{R_h^{4/3}} \qquad (12\text{-}3)$$

وهي الميل الحرج الموافق للعمق المنتظم الحرج .

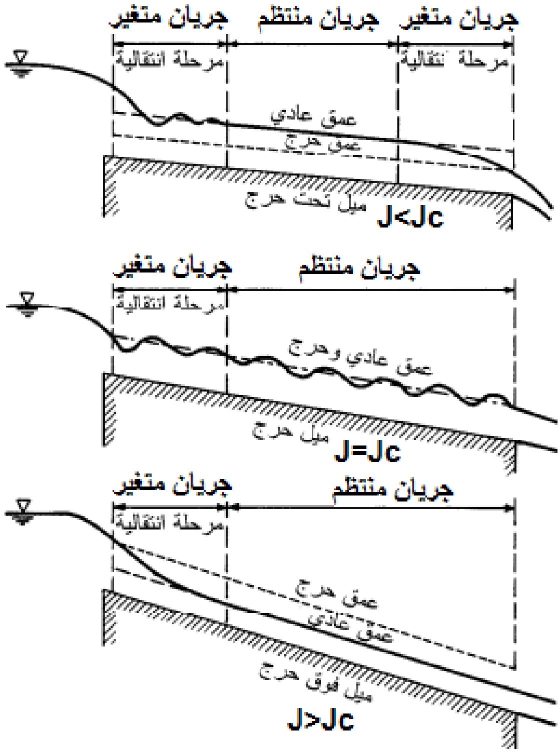
حيث:

A_C, R_{h_C}: هي قيم مساحة مقطع الجريان و نصف القطر الهيدروليكي والتي يمكن الحصول عليها بالتعويض $y = y_C$

J_C : قيمة الميل الحرج.

وهنا يمكن أن نستنتج الشكل (3-7):

- إذا كان ميل قاع القناة ضعيفاً $J_C < J_C$ فإن العمق يزيد عن العمق الحرج $y > y_C$ أي يكون الجريان بطيئاً أو تحت الحرج ويسمى الميل في هذه الحالة بالميل بسيط الانحدار أو الميل تحت الحرج.
- إذا زاد ميل قاع القناة عن قيمة الميل الحرج $J > J_C$ فإن العمق يقل عن العمق الحرج $y < y_C$ ويكون الجريان سريعاً أو فوق الحرج ويسمى الميل في هذه الحالة بالميل شديد الانحدار أو الميل فوق الحرج.
- يتميز الجريان المنتظم عندما يكون حرجاً أو قريباً من الحالة الحرجة بحالة من عدم الثبات ووجود تموجات على سطحه.



الشكل (3-7)

إن حدوث أي تغيرات في الحمولة النوعية للجريان ناجمة عن تغيرات في خشونة القناة أو في شكل مقطعها أو في ميلها أو نتيجة إطماء أو نحر مثلا تسبب تغيرات في عمق الجريان كما يوضح المنحني(3-5) ذلك.

عند تصميم قناة لحالة جريان منتظم يجب عمل مقارنة بين عمق الجريان وبين العمق الحرج، فإذا كان عمق الجريان النظامي يساوي أو قريباً من العمق الحرج وجب تغيير شكل مقطع القناة أو الميل الطولي للقناة وذلك حتى نضمن ثبات الجريان.

3-5 حساب العمق الحرج:

عرفنا سابقاً أن العمق الحرج هو العمق المقابل للحد الأدنى من الحمولة النوعية واستناداً إلى هذا التعريف وفي حال وجود مقطع عرضي محدد ويمر به تدفق معين نستطيع أن نجري العمليات التالية لإيجاد العمق الحرج:

- نوجد العلاقة الرياضية التي تحدد التابع E_S بدلالة y وبحيث أن يكون معبراً عن y بشكل مباشر في العلاقة لكي تسهل عملية الاشتقاق.

- نجري عملية الاشتقاق ونساوي الناتج للصفر، والعمق الذي نحصل عليه في هذه الحالة هو العمق الحرج.

سوف نحسب الآن العمق الحرج وذلك بالاعتماد على الاسس الواردة أعلاه لعدد من المقاطع ذات الأشكال الهندسية المحددة.

3-5-1 قناة ذات مقطع مستطيل

في حالة قناة ذات مقطع مستطيل نحسب التدفق لوحدة العرض $q = \frac{Q}{b}$ وتكون الحمولة النوعية $E_S = y + \frac{Q^2}{2\,g\,A^2}$، فإذا كانت $Q = b\,q$ و $A = b\,y$ فيكون:

$$E_S = y + \frac{b^2\,q^2}{2\,g\,b^2\,y^2} = y + \frac{q^2}{2\,g\,y^2} \tag{13-3}$$

وباشتقاق العلاقة بالنسبة لـ y يكون: $\frac{dE_S}{dy} = 0 \quad \Rightarrow 1 - \frac{2\,q^2}{2\,g\,y_C^3} = 0$

أي:

$$q^2 = g\,y_C^3 \quad \Rightarrow y_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \tag{14-3}$$

بتعويض قيمة y_C في العلاقة (13-3) نجد

$$E_{S_{min}} = y_C + \frac{q^2}{2\,g\,y_C^2} = y_C + \frac{g\,y_C^2}{2\,g\,y_C^2}$$
$$E_{S_{min}} = y_C + \frac{y_C}{2} = \frac{3}{2}\,y_C \tag{15-3}$$

ويمكن الحصول على العمق الحرج من العلاقة

$$\frac{Q^2\,T}{g\,A^3} = 1 \qquad\qquad \frac{q^2\,b^2\,T}{g\,b^3\,y_C^3} = 1$$

$$b = T$$

$$y_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

إذا كتبا العلاقة: $\frac{q^2}{g\;y_C^3} = 1$

$$V = \frac{q}{y} \qquad \frac{V^2}{g\ y_C} = 1 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{V^2}{2\,g} = \frac{y_C}{2} \tag{16-3}$$

أي إن الحمولة الحركية في حالة المقطع المستطيل وفي الحالة الحرجة $y = y_C$ تساوي نصف العمق الحرج.

وإذا اعتمدنا قانون تغير التدفق مع العمق من أجل حمولة نوعية ثابتة يكون:

$$Q = A\,\sqrt{2\,g\,(E_S - y)}$$

$$b\,q = b\,y\sqrt{2\,g\,(E_S - y)}$$

$$q^2 = 2\,g\,(E_S - y)\,y^2$$

$$q = \sqrt{2\,g\,(E_S - y)\,y^2}$$

$$\frac{dq}{dy} = \frac{d\left[\sqrt{2\,g\,(E_S - y)\,y^2}\right]}{dy} = 0$$

يكون:

$$2\,E_{S_{min}}\,y_C - 3\,y_C^2 = 0 \qquad\qquad E_{S_{min}} = \frac{3}{2}\,y_C$$

$$y_C = \frac{2}{3}\,E_{S_{min}} \tag{17-3}$$

2-5-3 مقطع مثلثي

بالاعتماد على العلاقة:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_C^3}{T_C}$$

حيث:

$$A = m\,y_c^2 \qquad\qquad T = 2\,m\,y_C$$

وبالتعويض نجد:

$$y_C = \sqrt[5]{\frac{2\,Q^2}{g\,m^2}} \tag{18-3}$$

والحمولة النوعية الأصغرية

$$E_{S_{min}} = y_C + \frac{V_C^2}{2g} = y_C + \frac{Q^2}{2\,g\,A_C^2} = y_C + \frac{m^2\ y_C^5}{4\,m^2\ y_C^4}$$

$$E_C = \frac{5}{4}\,y_C \tag{19-3}$$

3-5-3 مقطع شبه منحرف

$$A=(b+m\,y_C)y_C \qquad\qquad T=b+2m\,y_C$$

وبالتعويض في العلاقة $\frac{Q^2\,T}{g\,A^3}=1$ نجد:

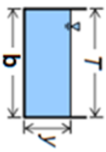
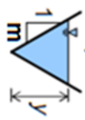
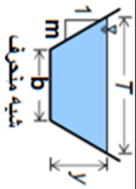
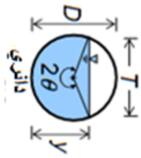
$$\frac{Q^2\,(b+2\,m\,y_C)}{g\,[(b+2\,y_C)\,y_C]^3}=1 \qquad (20\text{-}3)$$

وتحل هذه المعادلة بالتجريب ومن ثم نحسب بتعويض قيمة y_C في معادلة الحمولة النوعية

$$E_S=y+\frac{Q^2}{2\,g\,b^2\,y^2} \qquad (21\text{-}3)$$

يبين الجدول (1-3) عوامل الجريان الحرج لمقاطع هندسية مختلفة.

الجدول (1-3)

الشكل الهندسي	العمق الحرج	الحمولة النوعية الأصغرية
 مستطيل	$y_c=\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	$E_{sc}=\frac{3}{2}\,y_c$
 مثلث	$y_c=\sqrt[5]{\frac{2\,Q^2}{g\,m^2}}$	$E_{sc}=\frac{5}{4}\,y_c$
 شبه منحرف	$\frac{Q^2}{g}=\frac{A^3}{T}=\frac{(b+my_c)^3\,y_c^3}{(b+2my)}$	$E_{sc}=\frac{(3\,b+5\,m\,y_c)\,y_c}{2(b+2\,m\,y_c)}$
 دائري	$\frac{Q^2}{g}=\frac{A^3}{T}=\frac{1}{512}\frac{(\theta-\sin\theta)^3}{\sin\frac{\theta}{2}}D^5$	$E_{sc}=\frac{d}{2}\left(1-\cos\frac{\theta}{2}\right)+\frac{D}{16}\frac{(2\,\alpha-\sin\,\theta)}{\sin\,\frac{\theta}{2}}$

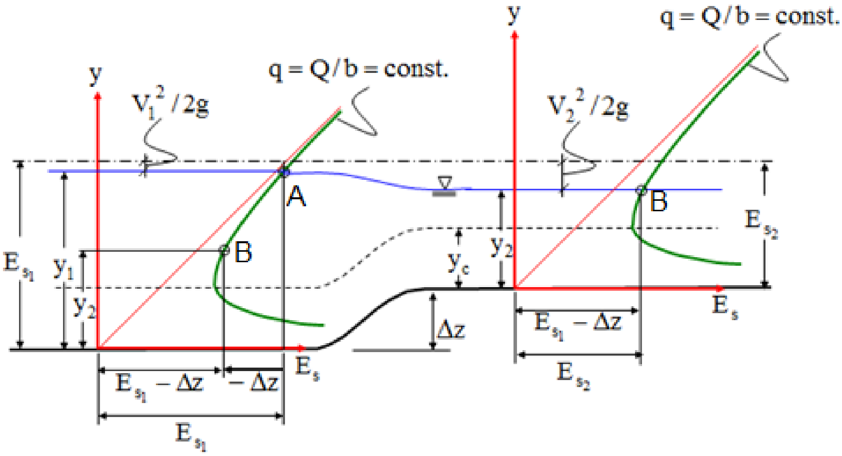
6-3 المناطق الانتقالية

يشكل منحنى الحمولة النوعية أداة مفيدة للغاية لتحليل حالات تدفق مختلفة .في هذه الفقرة سوف نتعلم كيف نستخدم منحنى الحمولة لتحليل أوضاع مختلفة لتدفق مع وجود عتبة (موجبة– سالبة)، وتدفق من خلال تضايق أو توسع في القناة.

يمكن بشكل عام تصنيف المناطق الانتقالية في الأقنية المكشوفة بتلك التي يحدث عندها تغير في شروط الجريان من:

1-6-3 مستوى تحت الحرج (بطئ) إلى مستوى آخر تحت الحرج(بطئ).

لنفرض أننا نريد تغيير شروط الجريان البطيء، الممثل بالنقطة A في قناة ذات مقطع مستطيل إلى شروط أخرى لجريان بطئ ممثل في النقطة B الشكل (8-3).



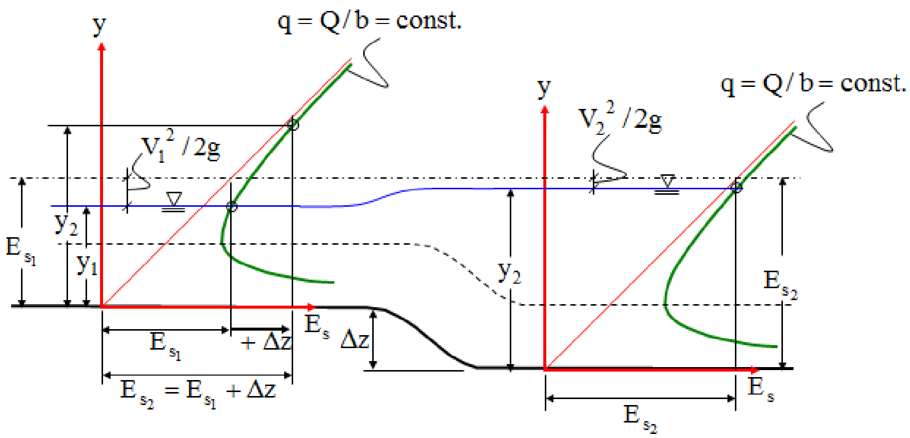
الشكل (8-3)

يبقى عرض القناة ثابت $q = cte$ حين الانتقال من (A) إلى (B) بينما يرفع القاع بالمقدار Δz (مع التذكير بأن E_S تقاس دوماً بالنسبة لقاع القناة).

يعوض ضياع الحمولة النوعية ΔE_S بكسب في الحمولة الكامنة Δz بحيث تبقى الحمولة الكلية $H = E_{S2} + \Delta z$ ثابتة.

$$E_{s_1} - \Delta z = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \Delta z = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = E_{s_2}$$

في حال انخفاض القاع بالمقدار ΔE_S يرتفع منسوب السطح الحر الشكل (9-3).

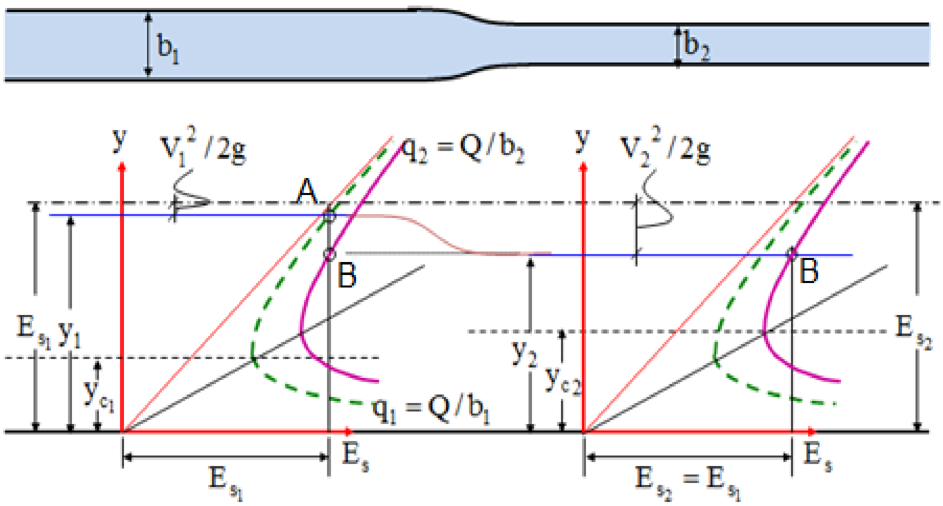


الشكل (3-9)

وتصبح المعادلة:

$$E_{s_1} + \Delta z = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \Delta z = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = E_{s_2} \qquad (22\text{-}3)$$

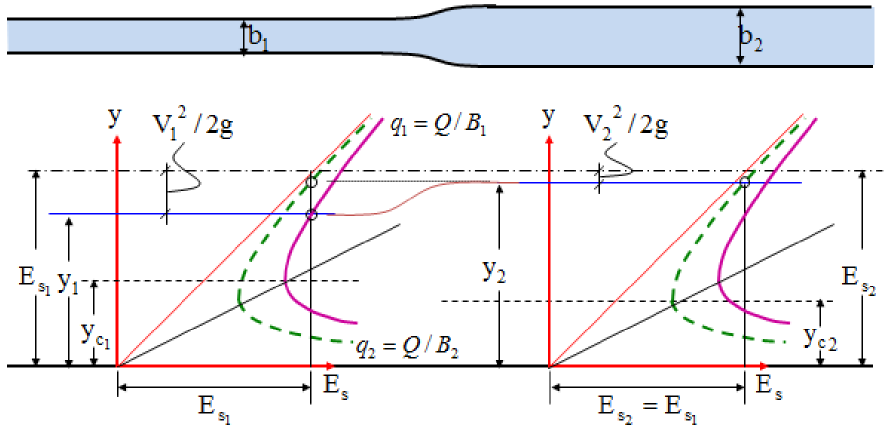
أو يتضايق عرض القناة ليتم الانتقال من (A) إلى B حتى الوصول إلى قيمة التدفق الواحدي الجديدة q_2 الشكل (3-10).



الشكل (3-10)

$$E_{s_1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = E_{s_2} \qquad (23\text{-}3)$$

أو في حال توسع في المقطع الشكل (3-11)

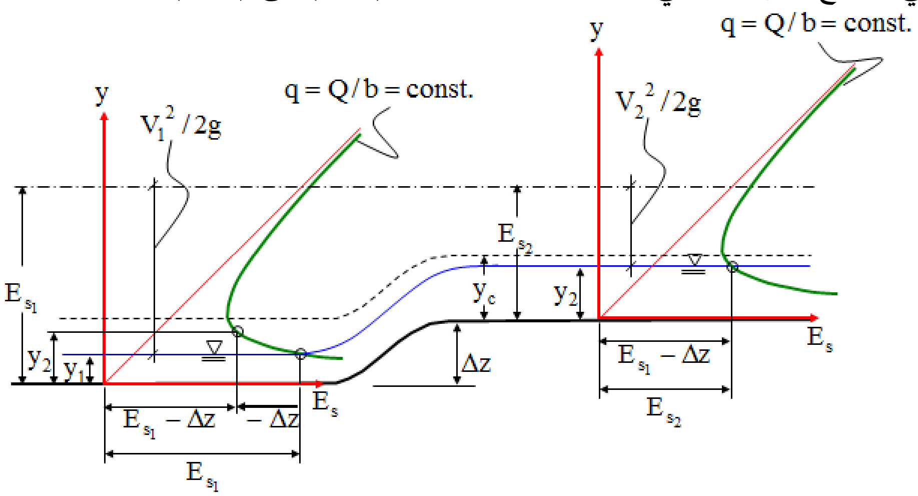


الشكل (3-11)

إن عمليات تحويل الجريان من (B) إلى (A) هي قابلة للعكس.

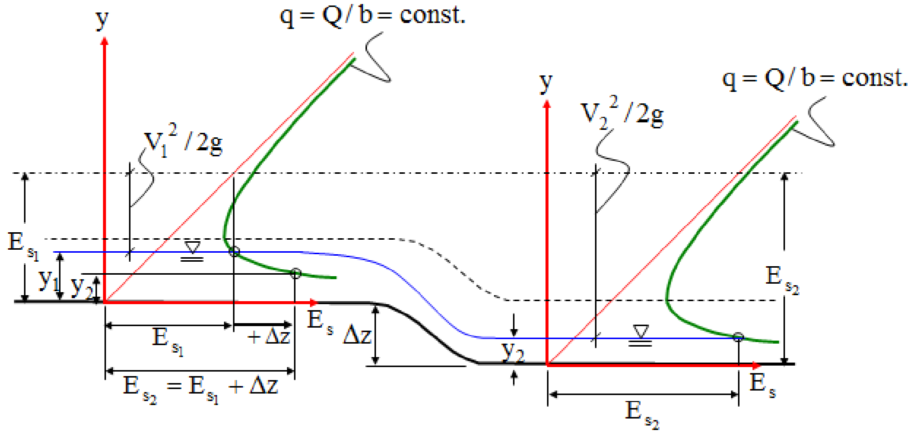
3-6-2 الانتقال من جريان فوق الحرج إلى جريان فوق الحرج.

تشبه مناقشة هذه الحالة تلك التي أوردت أعلاه في حالة انتقال الجريان من تحت الحرج إلى تحت الحرج. ويكمن الفرق الأساسي بين الحالتين في أنه بينما يسبب رفع قاع القناة و تقليص عرضها انخفاضاً في السطح الحر في الحالة السابقة فإنهما يسببان رفعاً في السطح الحر للماء في هذه الحالة الاشكال من (3-12) الى (3-15).



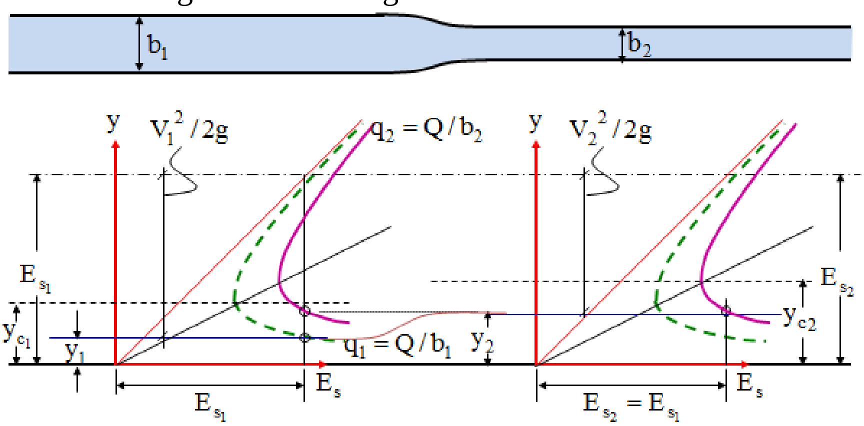
الشكل (3-12)

$$E_{s_1} - \Delta z = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \Delta z = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = E_{s_2} \tag{24-3}$$

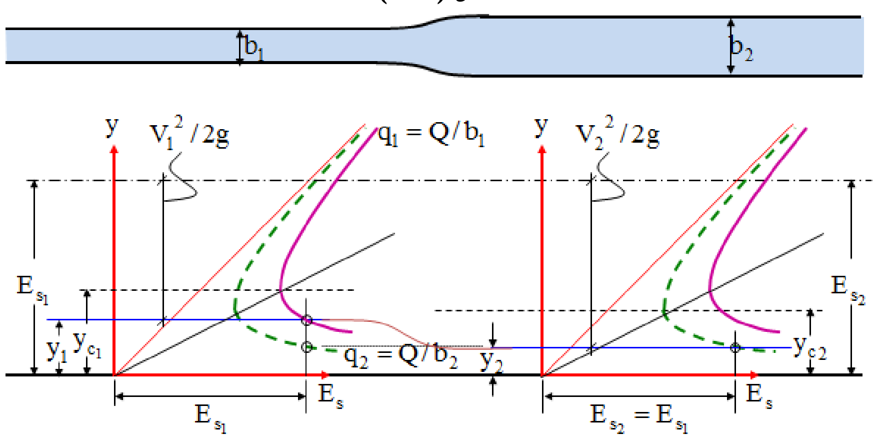


الشكل (13-3)

$$E_{s_1} + \Delta z = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \Delta z = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = E_{s_2} \quad (25\text{-}3)$$



الشكل (14-3)



الشكل (15-3)

$$E_{s_1} = y_1 + \frac{V_1^{\,2}}{2g} = h_2 + \frac{V_2^{\,2}}{2g} = E_{s_2} \qquad (26\text{-}3)$$

3-6-3 الانتقال من جريان تحت الحرج إلى فوق الحرج:

عند الانتقال من الشروط تحت الحرجة إلى الشروط فوق الحرجة فإن الجريان يجب أن يمر بمقطع تحكم، وهو المنطقة التي تتحقق عندها شروط الجريان الحرج.

هنالك طريقتان من الطرق الممكنة التي يتم بها نقل الجريان وهي برفع أرضية القناة بمقدار Δz أو بتقليص عرضها.

تشكل الطريقة الاولى حالة هدار والثانية حالة قناة فنتوري.

إن توليد الجريان فوق الحرج و الحفاظ عليه أسفل التيار بالنسبة لمقطع التحكم يعتمدان على توفر الشروط الملائمة هنالك، فإذا كان انحدار القناة أسفل التيار شديداً بشكل كاف فإن الجريان يستمر سريعاً، وإلا فإنه يعود ثانية إلى جريان تحت الحرج عبر قفزة مائية.

4-6-3 الانتقال من جريان فوق الحرج إلى تحت الحرج:

كما في الحالة السابقة يستلزم الانتقال من جريان فوق الحرج إلى آخر تحت الحرج المرور بمرحلة حرجة. إلا أن هذه الحالة الأخيرة تتضمن توسعاً في الجريان مما ينتج عنه دوامات وبالتالي ضياع في الحمولة. أي تتولد ظاهرة القفزة المائية.

مسائل الفصل الثالث

تطبيق (3-1):

احسب العمق الحرج y_C الموافق لحمولة نوعية E_S من أجل تدفق ثابت $Q = 8.5\, m^3/sec$ في الحالات التالية:

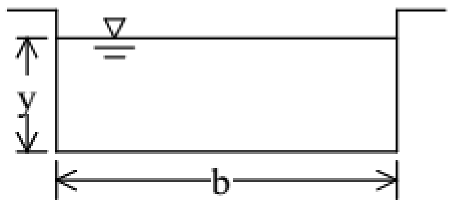
1) قناة ذات مقطع مستطيل $b = 2.5\, m$

2) قناة ذات مقطع مثلثي $m = 1.5$

3) قناة ذات مقطع شبه منحرف $m = 1.5$ $b = 2.5\, m$

الحل

حالة قناة مستطيلة:

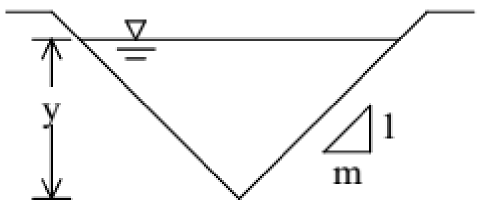


$$y_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1}{g}\left(\frac{Q^2}{b^2}\right)} = \sqrt[3]{\frac{1}{9.81}\left(\frac{8.5^2}{9.81 \times 2.5^2}\right)}$$

$$y_C = 1.056\, m$$

$$E_S = \frac{3}{2}\, y_C = 1.584\, m$$

حالة قناة مثلثية:

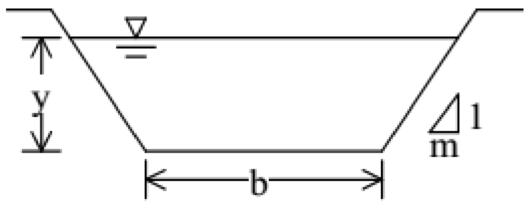


$$y_C = \sqrt[5]{\frac{2\, Q^2}{g\, m^2}} = \sqrt[5]{\frac{2 \times 8^2}{9.81 \times 1.5^2}}$$

$$y_C = 1.056\, m$$

$$E_S = \frac{3}{2}\, y_C = 1.584\, m$$

حالة قناة شبه منحرفة:



من أجل القناة الشبه منحرفة لا يوجد حل مباشر لإيجاد العمق الحرج فيتم الأمر بالتقريب المتتالي وانطلاقاً من العلاقة العامة:

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

$$T=b+2\,m\,y_C=2.5+3\,y_C$$

$$A=(b+m\,y_C)\,y_C=(2.5+1.5\,y_C)\,y_C=2.5\,y_2+1.5\,y_C^2$$

بالتعويض بالعلاقة

$$\frac{(8.5)^2\times(2.5+3\,y_C)}{9.81\times(2.5\,y_C+1.5\,y_C^2)^3}=1$$

$$y_C=0.96\,m$$

$$E_S=0.96+\frac{Q^2/A^2}{2g}=0.96+\frac{(8.5\times 8.85)/[(2.5+1.5\times 0.96)\times 0.96]}{2\times 9.81}$$

$$E_S=0.96+0.257$$

$$E_S=1.217\,m$$

تطبيق (3-2):

أثبت أن العمق الحرج في قناة ذات مقطع مستطيل يحقق العلاقة $y_C=\left(\frac{2\,y_1^2\,y_2^2}{y_1+y_2}\right)^{1/3}$ حيث y_1, y_2 العمقين المتبادلين

الحل

من أجل العمقين المتبادلين يكون:

$$E_{S_1}=E_{S_2}$$

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

$$y_1 + \frac{1}{2g}(\frac{Q^2}{b^2})\frac{1}{y_1^2} = y_2 + \frac{1}{2g}(\frac{Q^2}{b^2})\frac{1}{y_2^2}$$
$$y_1 + \frac{1}{2g}(\frac{q^2}{b^2})\frac{1}{y_1^2} = y_2 + \frac{1}{2g}(\frac{q^2}{b^2})\frac{1}{y_2^2}$$
$$y_1 + \frac{y_C^3}{2y_1^2} = y_2 + \frac{1}{2g}(\frac{q^2}{b^2})\frac{1}{y_2^2}$$

وباعتبار أن: $y_C^3 = \frac{q^2}{g}$ وبضرب الطرفين بـ $2\,y_1^2\,y_2^2$ نجد:

$$2\,y_1^3\,y_2^2 + y_2^2\,y_C^3 = 2\,y_1^2\,y_2^3 + y_1^2\,y_C^3$$
$$y_2^2\,y_C^3 - y_1^2\,y_C^3 = 2\,y_1^2\,y_2^3 - 2\,y_1^3\,y_2^2$$
$$y_C^3\,(y_2^2 - y_1^2) = 2\,y_1^2\,y_2^2\,(y_2 - y_1)$$
$$y_C = \left(\frac{2\,y_1^2\,y_2^2}{y_1 + y_2}\right)^{1/3}$$

تطبيق (3-3):

قناة ذات مقطع مستطيل تمرر تدفق مقداره $Q = 25\,m^3/sec$ بعرض $b = 6.25\,m$ وارتفاع الماء $y = 2\,m$ يتضايق المقطع ليصبح العرض $5.75\,m$ والمطلوب:

1) أوجد ارتفاع الماء في منطقة التضايق.

2) أوجد عرض المقطع في منطقة التضايق ليكون ارتفاع الماء مساوياً للعمق الحرج.

الحل:

(1

$$E_{s1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 2 + \frac{(25)^2}{2\times 9.81(6.25\times 2)^2} = 2.204m$$

ليكن y_2 ارتفاع الماء في منطقة التضايق فيكون:

$$E_{S1} = E_{S2} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$
$$2.204 = y_2 + \frac{(25)^2}{2\times 9.81\times (5.75\times y_2)^2}$$

ومنه نجد بالتجريب $y_2 = 1.93\,m$

2) لنفرض أن عرض القناة b_C

$$E_{S1} = E_{Sc} = y_c + \frac{Q^2}{2gA_c^2}$$

$$E_{sc} = \frac{3}{2} y_c$$

$$y_c = \frac{2}{3} E_{sc} = \frac{2}{3} \times 2.204 = 1.469 \text{ m}$$

$$E_{sc} = y_c + \frac{Q^2}{A_c^2 (2g)}$$

$$2.204 = 1.469 + \frac{(25)^2}{(b_c^2 y_c^2) \times 2g}$$

$$0.7346 = \frac{625}{b_c^2 \times 1.4692^2 \times 2 \times 9.81}$$

$$b_c = 4.482 \text{ m}$$

تطبيق (3-4):

قناة مستطيلة الشكل تمرر تدفقاً قدره $Q = 25 m^3/sec$ فإذا علمت أن الميل الطولي للقناة $J = 0.006$ ومعامل مانينغ $n = 0.016$ المطلوب:

1) أوجد عرض القناة الموافق للجريان الحرج.

2) ارسم تغيرات الحمولة النوعية و الحمولة الحركية و الحمولة الكامنة الموافقة للتدفق المفروض من أجل ارتفاعات مائية متغيرة من $y = 1m$ إلى $y=4m$ بتزايد قدره $0.5m$ واستنتج العمق المائي الحرج والحمولة النوعية الأصغرية.

الحل

يعطى العمق الحرج من أجل مقطع مستطيل بالعلاقة:

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

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{25}{b}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{625}{g\,b^2}} = \frac{4}{b^{2/3}} \qquad (1)$$

تعطى معادلة السرعة حسب مانينك بالشكل التالي:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J^{1/2}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{b\,y_c}{b + 2\,y_c}$$

$$\frac{Q}{b\,y_c} = \frac{1}{0.016} \left(\frac{b\,y_c}{b + 2\,y_c}\right)^{2/3} \sqrt{0.006} \qquad (2)$$

نعوض قيمة y_c من (1) في (2):

$$\frac{25}{4\,b^{1/3}} = \frac{1}{0.06} \left(\frac{b \times \frac{4}{b^{2/3}}}{b + \frac{8}{b^{2/3}}}\right)^{2/3} \times 0.0775$$

$$\frac{25}{4\,b^{1/3}} = 4.84 \times \left(\frac{4\,b^{1/3}}{\frac{b^{5/3} + 8}{b^{2/3}}}\right)^{2/3}$$

$$\frac{25}{4} = 4.84 \times \frac{4^{2/3}\,b^{1/3}}{(b^{5/3} + 8)^{2/3}} \Rightarrow$$

$$0.512 = \frac{b}{(b^{5/3} + 8)^{2/3}}$$

تحل هذه المعادلة بالتجريب فتكون قيمة $b = 3m$ وقيمة العمق الحرج $y_c = 1.923m$.

علاقة الحمولة الكامنة:

$$E_1 = y$$

علاقة الحمولة الحركية:

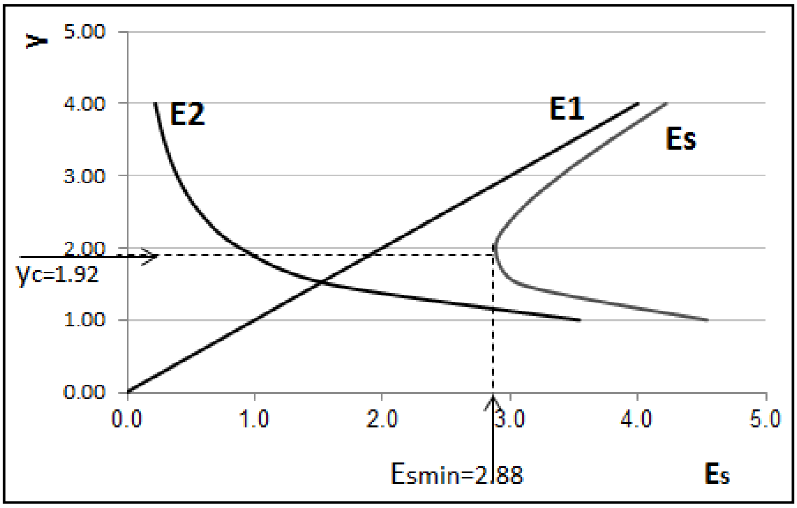
$$E_2 = \frac{V^2}{2.g} = \frac{Q^2}{2\,g\,A^2} = \frac{q^2}{2\,g\,y^2} = \frac{3.539}{y^2}$$

علاقة الحمولة النوعية:

$$E_s = E_1 + E_2 = y + \frac{3.539}{y^2}$$

Y=E1 **M**	**A** **m2**	**V** **m/s**	**$V^2/2g$=E2** **m**	**Es** **M**

0.00	0.0			
1.00	3.0	8.33	3.54	4.54
1.50	4.5	5.56	1.57	3.07
2.00	6.0	4.17	0.88	2.88
2.50	7.5	3.33	0.57	3.07
3.00	9.0	2.78	0.39	3.39
3.50	10.5	2.38	0.29	3.79
4.00	12.0	2.08	0.22	4.22



تطبيق (3-5):

يبين الشكل قناة مكشوفة ذات مقطع مستطيل تمرر تدفقاً $Q = 22 m^3 / sec$ قدره

ومعامل خشونة مانينغ $n = 0.017$ والمطلوب:

دراسة تغيرات الحمولة النوعية مع العمق وتحديد بيانياً كل من:

1) العمق الحرج.

2) الحمولة النوعية الاصغرية.

3) الحمولة النوعية من أجل $y = 2 \text{ m}$

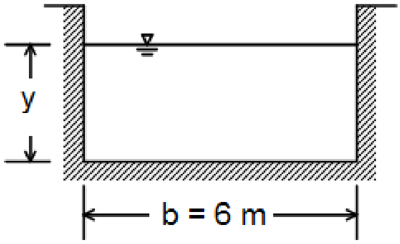
4) العمقين المتبادلين من أجل $E_s = 2.5 \text{ m}$

5) العمق المتبادل الثاني من أجل $y_1 = 1.5 \text{ m}$

6) تحديد نظام الجريان من أجل $y = 0.6 \text{ m}$ و $y = 1.8 \text{ m}$

7) الميل الحرج.

8) تحديد طبيعة الميل الطولي للقناة من أجل $y = 0.6 \text{ m}$ و $y = 1.8 \text{ m}$



الحل

$$E_s = y + \frac{Q^2}{2\,g\,A} = y + \frac{22^2}{2\times 9.81\times (6.y)^2} = y + \frac{1}{1.46y^2}$$

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{22}{6} = 3.67$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{3.67^2}{9.81}} = 1.11\,m$$

ندرس تحولات y مع الحمولة النوعية في الجدول التالي:

ومن الرسم يمكن استنتاج القيم التالية:

1) $y_c = 1.11\,m$
2) $E_{s_{min}} = 1.66\,m$
3) $y = 2\,m \quad \Rightarrow \quad E_s = 2.17\,m$
4) $E_s = 2.5\,m \quad \Rightarrow \quad y_1 = 2.38\,m \quad , \quad y_2 = 0.6\,m$
5) $y_1 = 1.5\,m \quad \Rightarrow y_2 = 0.85\,m$
6) $y = 0.6\,m$ نظام شلالي
7) $y = 1.8\,m$ نظام نهري

حساب الميل الحرج:

$$A = b\,y_c = 6\times 1.11 = 6.66\,m^2$$

$$P = b + 2\,y_c = 6 + 2.22 = 8.22\,m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{6.66}{8.22}$$

$$Q = \frac{1}{n}\,A\,R_h^{2/3}\,J_c^{1/2}$$

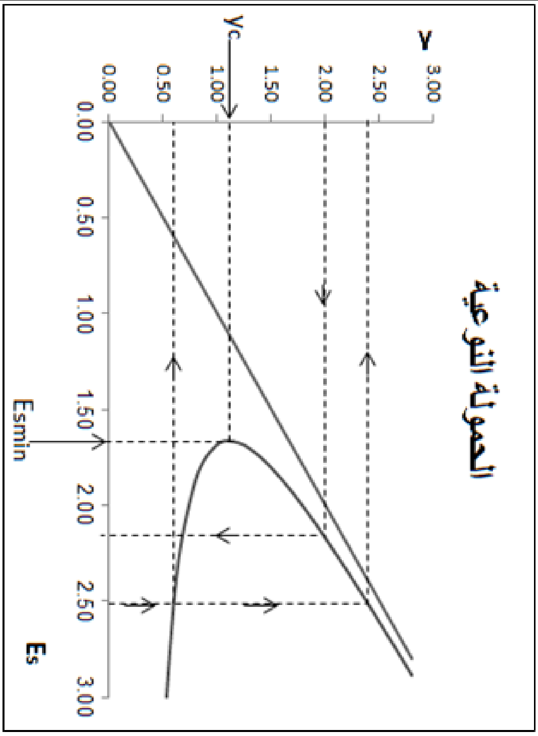
$$J_c = 0.0096 = 0.0027$$

8)

من أجل:

$$Q = 22\ m^3/sec \quad y = 0.6\ m \quad n = 0.017$$

y m	A m2	V m/s	$V^2/2g$ m	Es m
0.00	0.0			
0.20	1.2	18.33	17.13	17.33
0.40	2.4	9.17	4.28	4.68
0.60	3.6	6.11	1.90	2.50
0.80	4.8	4.58	1.07	1.87
1.00	6.0	3.67	0.69	1.69
1.20	7.2	3.06	0.48	1.68
1.40	8.4	2.62	0.35	1.75
1.60	9.6	2.29	0.27	1.87
1.80	10.8	2.04	0.21	2.01
2.00	12.0	1.83	0.17	2.17
2.20	13.2	1.67	0.14	2.34
2.40	14.4	1.53	0.12	**2.52**
2.60	15.6	1.41	0.10	2.70
2.80	16.8	1.31	0.09	2.89
3.00	18.0	1.22	0.08	**3.08**



نحسب الميل الطولي

$$A = 6 \times 0.6 = 3.6\ m^2$$
$$P = 6 + 2\left(0.6\right) = 7.2\ m$$
$$Q = \frac{1}{n}\ A\ R_h^{2/3}\ J^{1/2}$$
$$J = 0.027 > 0.0027$$

والميل شديد الانحدار.

من أجل:

$$Q = 22\ m^3/sec \quad y = 1.8\ m \quad n = 0.017$$

نحسب الميل الطولي

$$A = 6 \times 1.8 = 10.8\ m^2$$
$$P = 6 + 2\left(1.8\right) = 9.6\ m$$
$$Q = \frac{1}{n}\ A\ R_h^{2/3}\ J^{1/2}$$
$$J = 0.001 < 0.0027$$

والميل بسيط الانحدار.

تطبيق (3-6):

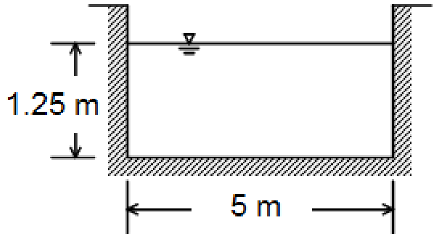
قناة مكشوفة ذات مقطع مستطيل بعرض $b = 5m$ تمرر تدفقاً مقداره $Q = 8m^3/sec$ بعمق نظامي $y_n = 1.25$ ومعامل مانينغ $n = 0.025$ والمطلوب:

1) احسب العمق الحرج.
2) احسب الحمولة النوعية الأصغرية
3) السرعة الحرجة.
4) حدد طبيعة نوع الجريان.
5) حساب الميل الحرج.

الحل

1) حساب العمق الحرج:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{8}{5} = 1.16\ m^3/sec/m$$
$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1.6^2}{9.81}} = 0.64\ m$$



2) حساب الحمولة النوعية الأصغرية: $E_s = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \times 0.64 = 0.96\ m$

3) حساب السرعة الحرجة:

$$E_{s_{min}} = y_c + \frac{V_c^2}{y_c} = \frac{3}{2} y_c$$

$$\frac{V_c^2}{y_c} = (\frac{3}{2} - 1) y_c = \frac{1}{2} y_c$$

$$V_c = \sqrt{g\ y_c} = \sqrt{9.81 \times 0.64} = 2.5\ m/sec$$

4) لتحديد طبيعة نوع الجريان نحسب رقم فرويد:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{8}{5 \times 1.25} = 1.28\ m/sec$$

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g\ y}} = \frac{1.28}{\sqrt{9.81 \times 1.25}} = 0.36 < 1$$

$$y_c < y_n$$

وبالتالي نوع الجريان نهري

1) لحساب الميل الحرج:

$$Q = \frac{1}{n} A\ R_h^{2/3}\ J_c^{1/2}$$

$$8 = \frac{1}{0.025} \times 5 \times 0.64 \times [\frac{5 \times 0.64}{5 + 2 \times 0.64}]^{2/3} \times J_c^{1/2}$$

$$J_c = 0.0096 = 9.6\ m/Km$$

تطبيق (7-3):

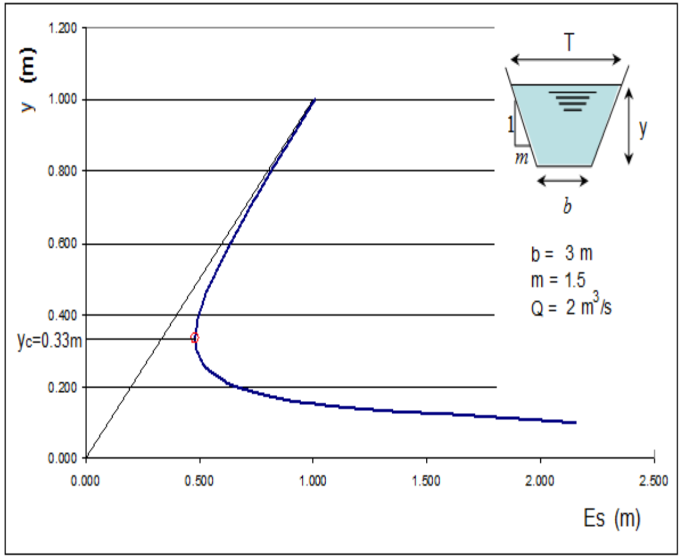
ارسم منحني تغير الحمولة النوعية مع العمق من أجل تدفق ثابت لقناة ذات مقطع شبه منحرف جميع المعطيات مبينة بالشكل.

الحل:

يعطى تابع الحمولة النوعية بالعلاقة

$$E_s = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

y	(b+my)y A	V = Q/A	$V^2/2g$	Es	b+2my T	$y_m = A/T$	$Fr = \frac{V}{\sqrt{g y_m}}$ Fr
m	m^2	m/s	m	m	m	m	(-)
0.100	0.315	6.349	2.055	2.155	3.300	0.095	6.56
0.147	0.474	4.218	0.907	1.054	3.442	0.138	3.63
0.194	0.640	3.125	0.498	0.692	3.583	0.179	2.36
0.218	0.726	2.757	0.387	0.605	3.654	0.199	1.98
0.242	0.813	2.461	0.309	0.550	3.725	0.218	1.68
0.265	0.901	2.219	0.251	0.516	3.796	0.237	1.45
0.289	0.992	2.016	0.207	0.496	3.867	0.257	1.27
0.301	1.038	1.927	0.189	0.490	3.902	0.266	1.19
0.317	1.103	1.814	0.168	0.485	3.952	0.279	1.10
0.331	1.159	1.726	0.152	0.483	3.994	0.290	1.02
0.336	**1.178**	**1.698**	**0.147**	**0.483**	**4.008**	**0.294**	**1.00**
0.349	1.231	1.624	0.134	0.484	4.048	0.304	0.94
0.389	1.395	1.434	0.105	0.494	4.168	0.335	0.79
0.436	1.592	1.256	0.080	0.516	4.307	0.370	0.66
0.469	1.737	1.152	0.068	0.537	4.407	0.394	0.59
0.535	2.036	0.982	0.049	0.584	4.606	0.442	0.47
0.602	2.348	0.852	0.037	0.639	4.805	0.489	0.39
0.668	2.674	0.748	0.029	0.697	5.004	0.534	0.33
0.734	3.012	0.664	0.022	0.757	5.203	0.579	0.28
0.867	3.730	0.536	0.015	0.882	5.602	0.666	0.21
1.000	4.500	0.444	0.010	1.010	6.000	0.750	0.16



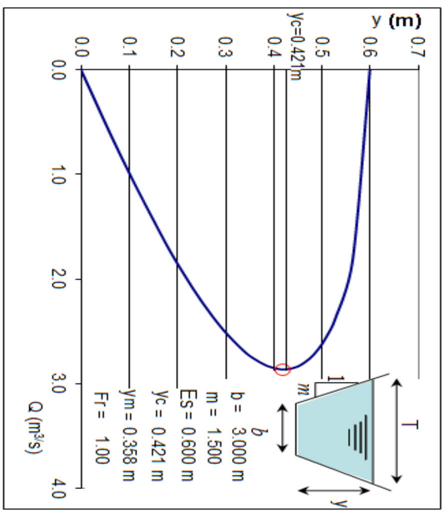
تطبيق (3-8):

ارسم منحني تغير التدفق مع العمق من أجل تدفق حمولة نوعية ثابتة لقناة ذات مقطع شبه منحرف جميع المعطيات مبينة بالشكل.

الحل: يعطى تابع تغير التدفق مع العمق من أجل حمولة نوعية ثابتة بالعلاقة

$$Q = A\sqrt{2g\left(E_s - y\right)}$$

y	T = b+2my	A = (b+my)y	Q	V = Q/A	$V^2/2g$	Es	ym = A/T	$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}}$
m	m	m^2	m^3/s	m/s	m	m	m	
0.100	3.300	0.315	0.987	3.132	0.500	0.600	0.095	3.24
0.164	3.492	0.533	1.558	2.924	0.436	0.600	0.153	2.39
0.228	3.685	0.763	2.061	2.700	0.372	0.600	0.207	1.89
0.260	3.781	0.883	2.279	2.581	0.340	0.600	0.233	1.71
0.292	3.877	1.006	2.470	2.456	0.308	0.600	0.259	1.54
0.325	3.974	1.132	2.631	2.325	0.275	0.600	0.285	1.39
0.357	4.070	1.261	2.755	2.185	0.243	0.600	0.310	1.25
0.373	4.118	1.326	2.801	2.112	0.227	0.600	0.322	1.19
0.395	4.185	1.419	2.846	2.005	0.205	0.600	0.339	1.10
0.414	4.243	1.501	2.864	1.909	0.186	0.600	0.354	1.02
0.421	4.262	1.528	2.865	1.875	0.179	0.600	0.358	1.00
0.424	4.273	1.543	2.865	1.856	0.176	0.600	0.361	0.99
0.435	4.305	1.589	2.859	1.799	0.165	0.600	0.369	0.95
0.448	4.343	1.644	2.842	1.729	0.152	0.600	0.378	0.90
0.457	4.370	1.683	2.822	1.677	0.143	0.600	0.385	0.86
0.475	4.424	1.761	2.764	1.569	0.125	0.600	0.398	0.79
0.492	4.477	1.841	2.674	1.453	0.108	0.600	0.411	0.72
0.510	4.531	1.922	2.548	1.326	0.090	0.600	0.424	0.65
0.528	4.585	2.004	2.376	1.186	0.072	0.600	0.437	0.57
0.564	4.692	2.170	1.820	0.839	0.036	0.600	0.462	0.39
0.600	4.800	2.340	0.000	0.000	0.000	0.600	0.488	0.00

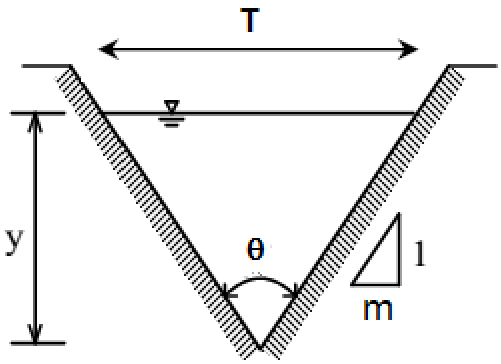


تطبيق (3-9):

قناة ذات مقطع مثلثي كما يظهر بالشكل معدل ميل الجوانب $m = 2$ والمطلوب:

1) أوجد الارتفاع الحرج y_c من أجل تدفق $Q = 0.35\ m3/s$ والموافق للقيمة الاصغرية للحمولة النوعية.

2) احسب التدفق الموافق لارتفاع $y = 0.6\ m$ اذا علمت معامل الخشونة $n = 0.025$ والميل الطولي للقناة $J = 0.001$



الحل:

1) يعطى رقم فرود للجريان الحرج بالعلاقة

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\ y_m}} = \frac{Q}{A\sqrt{g\ y_m}}$$

كما يعطى العمق الحرج لمقطع مثلثي

$$y_C = \sqrt[5]{\frac{2\ Q^2}{g\ m^2}} = \sqrt[5]{\frac{2 \times 0.35^2}{9.81 \times 2^2}} = 0.362\ m$$

وتكون الحمولة النوعية الاصغرية

$$E_{s_{min}} = y_c + \frac{V_c^{\ 2}}{2g} = y_c + \frac{Q^2}{A_c^{\ 2}\ 2g} = y_c + \frac{Q^2}{\left(m\ y_c^{\ 2}\right)^2\ 2g} = y_c + \frac{Q^2}{m^2 y_c^{\ 4}\ 2g}$$

$$= 0.362 + \frac{0.35^2}{2^2 \times 0.362^4 \times 2 \times 9.81} = 0.453\ m$$

2) لإيجاد التدفق من أجل عمق $y = 0.6\ m$

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{\ 2/3}\ J^{1/2}$$

$$A = my^2 = 2 \times 0.6^2 = 0.72\ m^2$$

$$R_h = \frac{m\ y}{2\sqrt{1+m^2}} = \frac{2 \times 0.6}{2\sqrt{1+2^2}} = 0.268\ m$$

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{\ 2/3} J^{1/2} = \frac{0.72}{0.025} 0.268^{2/3}\ 0.001^{1/2} = 0.379\ m^3 / s$$

تطبيق (3-10):

قناة ذات مقطع شبه منحرف عرض القاعدة $b = 5\ m$ ومعدل ميل الجوانب $m = 2$

فإذا علمت أن $J = 0.0005$ معامل مانينغ $n = 0.021$ وتمرر تدفق مقداره $Q = 50\ m^3 / s$

والمطلوب:

1) الحمولة النوعية الموافقة للعمق النظامي

2) هل الجريان نهري ام شلالي

3) ماهو العمق المتبادل مع العمق النظامي

4) ماهي قيمة العمق الحرج

الحل:

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{\ 2/3} J^{1/2}$$

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

$$A = (b + m\ y)\ y$$

$$R_h = A / P$$

بالتجريب نجد:

$$y_n = 2.95\ m$$

$$A = 32.155\ m^2$$

$$T = b + 2\ m\ y = 5 + 2 \times 2 \times 2.95 = 16.8\ m$$

$$E_s = y_n + \frac{Q^2}{2\ g\ A^2} = 2.95 + \frac{2500}{2 \times 9.81 \times 32.155} = 3.073\ m$$

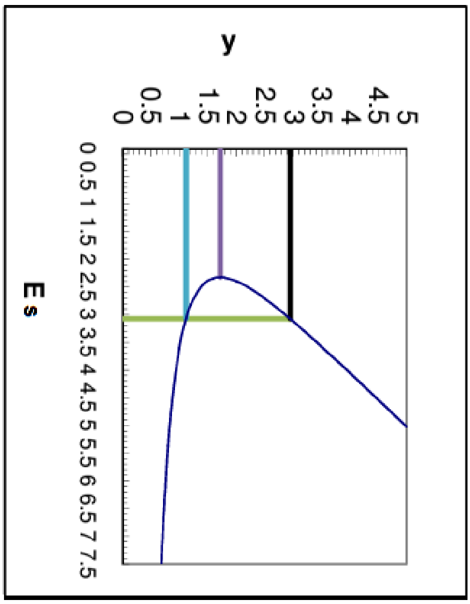
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{50}{32.155} = 1.555\ m / s$$

$$y_m = \frac{A}{T} = \frac{32.155}{16.8} = 1.91\ m$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\ y_m}} = \frac{1.555}{\sqrt{9.81 \times 1.91}} = 0.359$$

$$Fr = 0.359 < 1$$

Y(m)	A(m^2)	Q^2 /(2*g*A^2)	E(m)
0.4	2.32	23.674	24.074
0.6	3.72	9.208	9.808
0.8	5.28	4.571	5.371
1	7	2.600	3.600
1.116	***8.0709***	***1.956***	***3.072***
1.2	8.88	1.616	2.816
1.4	10.92	1.069	2.469
1.6	13.12	0.740	2.340
1.72	***14.28***	***0.625***	***2.325***
1.8	15.48	0.532	2.332
2	18	0.393	2.393
2.2	20.68	0.298	2.498
2.4	23.52	0.230	2.630
2.6	26.52	0.181	2.781
2.8	29.68	0.145	2.945
2.95	***32.155***	***0.123***	***3.073***
3	33	0.117	3.117
3.2	36.48	0.096	3.296
3.4	40.12	0.079	3.479
3.6	43.92	0.066	3.666
3.8	47.88	0.056	3.856
4	52	0.047	4.047
4.2	56.28	0.040	4.240
4.4	60.72	0.035	4.435



والجريان نهري

$$E_s = y + \frac{Q^2}{2\,g\,A^2}$$

$$3.073 = y + \frac{2500}{2\times 9.81\times\left(5y+2y^2\right)^2}$$

بالتجريب نجد:

$$y = 1.12\ m$$

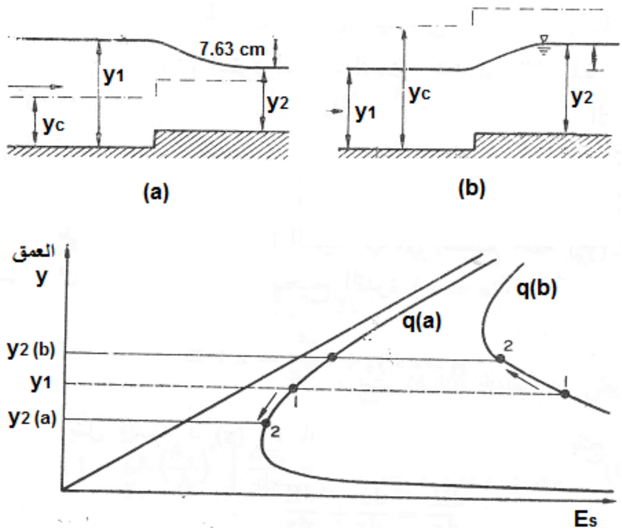
$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

بتعويض قيمة العمق الحرج في العلاقة نجد: $y_C = 1.72\ m$

تطبيق (3-11):

قناة مكشوفة عرضها ثابت رفع قاعها بمقدار $\Delta Z = 4.57cm$ في موقع معين. إذا كان عمق الجريان المقترب $y_1 = 45.7\,cm$ فالمطلوب حساب معدل الجريان الناجم عن هبوط في منسوب سطح الماء مقداره $7.63cm$ عند موقع رفع القاع، و كذلك عند رفع منسوب الرفع الماء مقداره $7.6\ cm$ عند الموقع المذكور؟ تهمل الضياعات عند موقع التغير المفاجئ. احسب العمق الحرج في كل حالة وارسمه بالنسبة للمقطع الطولي لسطح الماء.

الحل:



$$y_1 = y_2 + \Delta y + \Delta Z$$
$$E_{S_1} = E_{S_2} + \Delta Z$$
$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta Z$$

أي أن:

$$y_1 = y_2 + \Delta y + \Delta Z$$
$$E_{S_1} = E_{S_2} + \Delta Z$$
$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta Z$$

ومن معادلة الاستمرار لدينا: $V_1\ y_1 = V_2\ y_2$

إذن:

$$\frac{V_1^2}{2g}\left[1-\left(\frac{y_1}{y_2}\right)^2\right] = -\Delta y$$
$$\Delta y = 7.63\,\text{cm}$$
$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{45.7}{45.7-4.57-7.73} = 1.36\,\text{cm}$$

إذن:

$$V_1^2 = 45.7\,V_1 = 0.6\,\text{m}^3/\text{sec}$$
$$y_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 33.3\,\text{cm}$$

في الحالة b:

$$\Delta y = -7.63\,\text{cm}$$
$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{45.7}{45.7+9.63-4.57} = 0.937$$
$$V_1^2 = \frac{2\times 9.81\times 7.63}{1-0.937} =$$
$$q = 45.7\,V_1 = 1.62\,\text{m}^3/\text{sec}$$
$$y_C = \sqrt[3]{\frac{q}{g}} = 64.5\,\text{cm}$$

تطبيق (3-12):

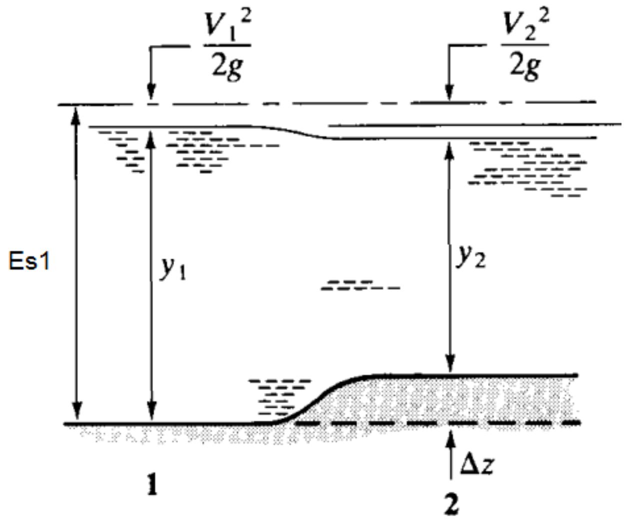
يجري الماء في قناة أفقية مكشوفة ذات مقطع مستطيل على شكل جريان هادئ بعمق $y_1 = 3\ m$ وبسرعة $V_1 = 3\ m/s$ ، احسب التغيير في عمق الماء وفي منسوب سطح الماء الناتج في الحالتين:

1) وجود عتبة انسيابية بارتفاع $\Delta Z = 0.3\,m$ في قاع القناة.

2) وجود هبوط انسيابي بعمق $\Delta Z = 0.3\ m$ في قاع القناة .

3) احسب الارتفاع الاعظمي للعتبة في الحالة الاولى بحيث تمرر نفس التدفق. تهمل الضياعات عند موقع التغير المفاجئ. واعتبر $g = 10\ m/s^2$

الحل:



نطبق برنوللي بين المقطعين (1) و (2)

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

أي أن:

$$E_{S_1} = E_{S_2} + \Delta Z$$

حيث E_S الحمولة النوعية وهي ثابتة في أي مقطع من القناة وبإهمال الضياعات في منطقة التغير

$$E_{S_2} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = y_2 + \frac{q_2^2}{2g\ y_2^2}$$
$$-2g\ y_2^2\ E_{S2} + 2g\ y_2^3 + q_2^2 = 0$$

نحصل على معادلة من الدرجة الثالثة من الشكل:

$$y_2^3 - y_2^2\ E_{S2} + \frac{q_2^2}{2g} = 0 \qquad (1)$$

ولكن :

$$E_{S_2} = E_{S_1} - \Delta Z = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \Delta Z$$
$$E_{S2} = 3 + \frac{9}{2\times 10} - 0.3 = 3.45 - 0.3 = 3.15\ \text{m}$$

ومن معادلة الاستمرار لدينا:

$$q_1 = q_2$$
$$V_1\ y_1 = V_2\ y_2$$
$$V_1\ y_1 = 3\times 3 = 9\ \text{m}^3/\text{s}/\text{m}'$$

بالتعويض في (1):

$$y_2^3 - 3.15\ y_2^2\ + \frac{9}{2\times 10} = 0$$
$$y_2^3 - y_2^2\ + 4.05 = 0$$

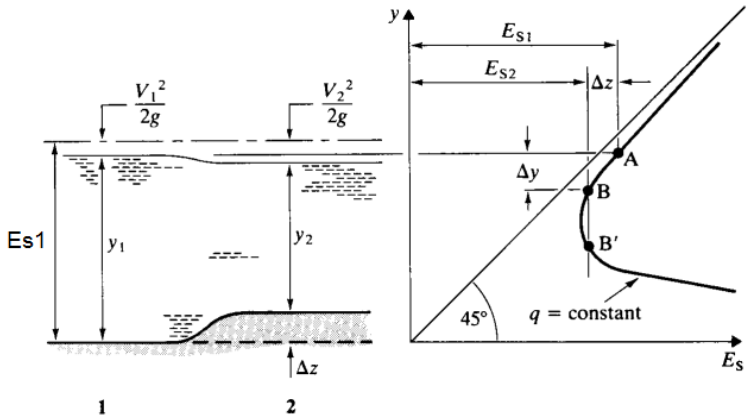
وهي معادلة من الدرجة الثالثة تقبل ثلاث حلول حلان موجبان وثالث سالب مرفوض:

حالة جريان هادئ $y_2' = 2.5\ \text{m}$ وهو المطلوب

حالة جريان سريع $y_2'' = 1.46\ \text{m}$ مرفوض

سالب $y_2''' = -0.99\ \text{m}$ مرفوض

$$\Delta y = y_1 - (y_2 - \Delta Z)$$
$$\Delta y = 3 - (2.5 - 0.3) = 0.2\ \ \text{m}$$



الحالة الثانية:

$$y_2^3 - y_2^2 \, E_{S2} + \frac{q_2^2}{2g} = 0 \qquad (2)$$

$$E_{S_2} = E_{S_1} + \Delta Z$$

$$E_{S2} == 3.45 + 0.3 = 3.75 \text{ m}$$

بالتعويض في (2):

$$y_2^3 - 3.75 \, y_2^2 \; + 4.05 = 0$$

وهي معادلة من الدرجة الثالثة تقبل ثلاث حلول حلان موجبان وثالث سالب مرفوض:

حالة جريان هادئ	$y_2' = 3.4 \text{ m}$	وهو المطلوب
حالة جريان سريع	$y_2'' = 1.28 \text{ m}$	مرفوض
سالب	$y_2''' = -0.93 \text{ m}$	مرفوض

$$\Delta y = y_2 - (y_1 + \Delta Z)$$

$$\Delta y = 3.4 - (3 + 0.3) = 0.1 \text{ m}$$

من أجل تحديد القيمة العظمى ΔZ نجد أن حل المعادلة

$$y_2^3 - y_2^2 \, E_{S2} + \frac{q_2^2}{2g} = 0$$

يتعلق بقيمة E_{S2} فقط لأن باقي العوامل ثابتة، نزيد من قيمة ΔZ تدريجياً أي ننقص من قيمة E_{S2} تدريجياً حتى الحصول على معادلة تقبل جذرين موجبين متساويين وجذر سالب مرفوض (إذا زادت قيمة E_{S2} عن هذه القيمة نحصل على جذرين تخيليين وجذر سالب).

بالحل ينتج أن:

$$E_{S2} = 3.01\,\text{m}$$

$$\Delta Z = E_{S1} - E_{S2} = 3.45 - 3.01 = 0.44\,\text{m}$$

وهذا يعني أنه إذا زادت قيمة ΔZ عن هذه القيمة لا يمر التدفق المطلوب.