

الفصل السابع

الجريان في القنوات المفتوحة

1 - 7 مقدمة

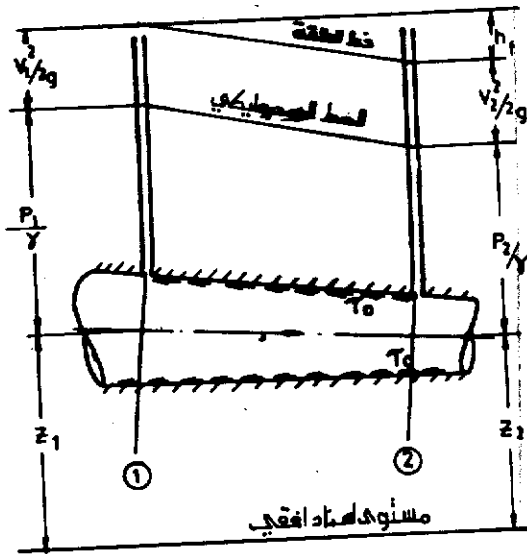
يكون الجريان في القنوات اما جريان قناة مفتوحة (Open Channel Flow) او جريانا انبويياً (Pipe flow). فقد تمت دراسة الجريان الانبوي في فصل السادس حيث كان الجريان ملامسا لكل السطح المتحد المغلق وحينما لا يكون المقطع مملوءاً يصبح للماء سطحاً حرة (Free Surface) يتواجد فوقه عادة الضغط الجوي فيسمى جريان القناة المفتوحة. فجريان القنوات المفتوحة يشمل جريان في الانهار وقنوات الري المختلفة والسواقي والبارات ومنظومة الابواب لتصريف مياه الامطار والمياه القذرة عندما لا تكون هذه الابواب مملوءة وغيرها.

هناك بعض التشابهات بين الجريان في القنوات المغلقة المملوءة المقطع وبين الجريان في القنوات المفتوحة. فالسطح المتأخم يقاوم الجريان بقوى اجهاد القص فتقدم طاقة للسيطرة على هذه القوى. ونتيجة لذلك يكون ضائع للطاقة باتجاه الجريان (شكل 1-7).

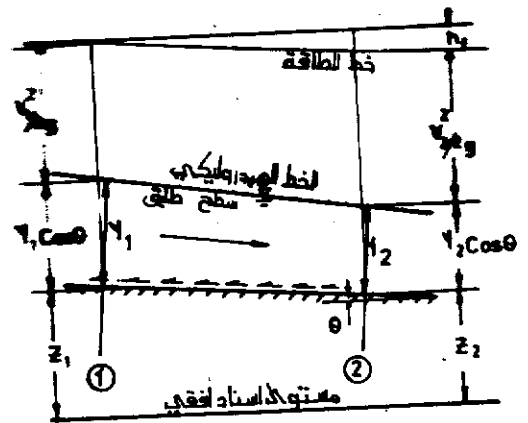
ان الزيادة في صعوبة التحليل في القنوات المفتوحة ناتجة من تغير موقع السطح الطليق مع الزمن والمسافة وان عمق الجريان والتصريف وانحدار قاع القناة والسطح الطليق يعتمد بعضها على بعض. اضافة الى ان للقنوات سطوحاً متأخمة ذات خشونة مختلفة بطبيعتها وان موقع السطح الطليق يعتمد على طبيعة الخشونة. فخشونة قاع النهر تختلف من منطقة الى اخرى في حين يثبت معامل الخشونة في الجريان الانبوي في

التصريف المعين. كما ان للقنوات المفتوحة اشكالا مختلفة وقد تتغير في نفس القناة من منطقة الى اخرى لذا نجد انواعا مختلفة من الجريانات في القنوات المفتوحة.

ان الجريان الانبوبي يشمل الماء الذي يحيط به السطح المتاخم في حين ان الجريان في القنوات المفتوحة يتميز بسطح طليق ويحيط بالماء سطح صلب وهواء عادة. لذا فان هذا السطح الطليق يعتبر وسطاً بين مائعين مختلفين بالكثافة النسبية.



ب - الجريان في القناة المغلقة (انبوبي مملوء)



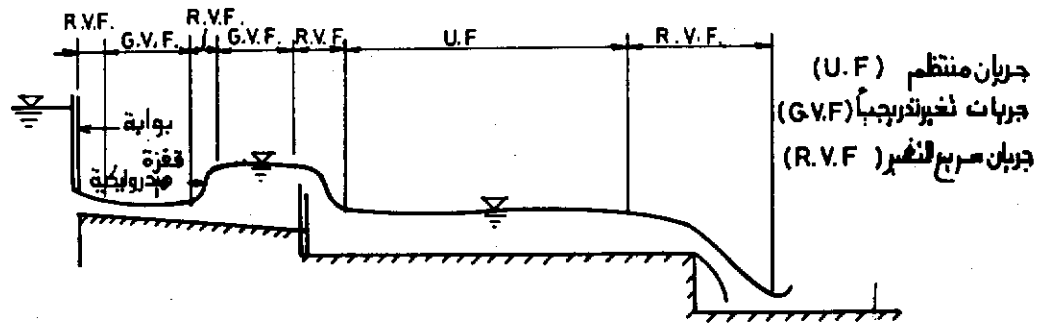
٢ - الجريان في القناة المفتوحة

شكل ١-٧

يأخذ الجريان في القنوات المفتوحة الحالات التالية

- ١ - ثابت او غير ثابت
- ٢ - منتظم او غير منتظم
- ٣ - طباقى او اضطرابى
- ٤ - هادىء او عرم

لقد نوقشت الحالات 1 و 2 و 3 بالنسبة للجريان الانبوبي وتم توضيحها بصورة عامة في الفصل الثالث. فالزمن هو محدد الثبوت في الجريان. فاذا ثبت العمق مع الزمن في المقطع المعين او امكن فرض ثبوته خلال فترة التحليل سمي الجريان بجريان ثابت وبعكس ذلك فانه جريان غير ثابت. وقد ذكرت عدة حالات في الفصل الثالث للجريان غير الثابت في القنوات المفتوحة منها جريان موجة الفيضان. ان المسافة هي المحددة بالنسبة الى تنظام الجريان. فان ثبت العمق او مقطع توزيع السرعة مع مسافة سمي الجريان بجريان منتظم وبعكس ذلك فانه جريان غير منتظم. فان حدث التغير في العمق خلال مسافة طويلة نسبيا سمي الجريان بجريان تغير تدريجيا (Gradually Varied Flow) وان حدث في مسافة قصيرة نسبيا سمي الجريان بجريان سريع التغير (Rapidly Varied Flow). شكل 2-7 يبين هذه الحالات في الجريانات. اما الجريان غير الثابت فانه غير منتظم عادة ويندر حصول جريان غير ثابت منتظم الا تحت سيطرة تامة في المختبر وعليه حينما يكون الجريان غير ثابت فهو غير منتظم ايضا. ولكن الجريان الثابت المنتظم هو الاكثر اعتبارا في جريانات القنوات المفتوحة.



شكل 2-7 حالات الجريان المنتظم وغير المنتظم

واعتمادا على تأثير اللزوجة نسبة الى تأثير القصور الذاتي يأخذ الجريان حالات الجريان الطباقى او الاضطرابى او فى منطقة التحول بينهما. ان نسبة قوى القصور الى قوى القص تتمثل برقم رينولدز الذي يكتب فى القنوات المفتوحة بالصيغة

$$Re = \frac{VR_h \rho}{\mu} \quad 1-7$$

حيث ان R_h تمثل نصف القطر الهيدروليكي الذي يساوي مساحة مقطع الجريان مقسوما على المحيط المبلول. فحينما يكون $Re \leq 500$ يكون الجريان طباقيا. ولا يتوقع حدوث جريان طباقى فى القنوات المفتوحة لصغر لزوجة الماء ويمكن الحصول عليه تحت سيطرة تامة فى العمق والسرعة. ولقد نصح لهذا الجريان لهية فى تحليل التصريف من الشوارع والمطارات ومحلات وقوف السيارات حيث يكون الجريان عبارة عن الواح خفيفة (Thin sheets) وبعرض غير محدود ومقاومة من السطح المتأخم فقط تقريبا وعليه فان هذا الجريان الطباقى يكون ذا بعدين. واعتمادا على نسبة القصور الى قوى الجاذبية يكون الجريان هادئا او عرما. فقوى القصور فى الحالة العامة

$$I.F = Ma = (\rho L^3) \left(V - \frac{V}{L} \right) = \rho V^2 L^2$$

اما قوى الجاذبية فانها

$$G.F = Mg = \rho L^3 g$$

وعليه فان النسبة اعلاه تساوي

$$\frac{I.F}{G.F} = \frac{\rho V^2 L^2}{\rho L^3 g} = \frac{V^2}{gL}$$

ويؤخذ عادة العمق الهيدروليكي y_h الذي يساوي مساحة المقطع المائي العمودي على الجريان مقسومة على عرض السطح الطليق كممثل للطول. يسمى الناتج بعد جذره عادة برقم فرود (Froude Number)

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy_h}} \quad 2-7$$

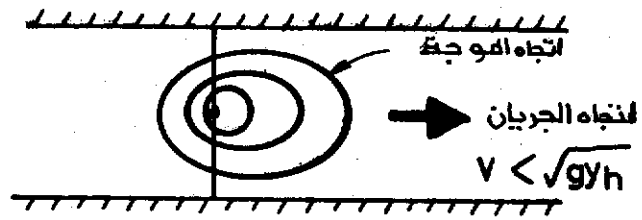
فحينما يكون Fr مساويا الى 1 يسمى الجريان بجريان حرج (Critical Flow) وحينما يكون اصغر من واحد يسمى بجريان تحت الحرج (Subcritical Flow) او هادىء وحينما يكون اكبر من واحد يسمى بجريان فوق الحرج (Supercritical Flow) او عرم. والجسر بالذكر ان الكمية $\sqrt{gy_h}$ تمثل سرعة الموجة (Celerity) التي تحدث في ماء ضحل نتيجة تغيرات وقتية في العمق الموقعي (Local Depth) هي سرعة الموجة الصغيرة المتأثرة بالجاذبية الارضية. فسرعة الجريان الهادىء تكون اقل من سرعة هذه الموجة اما سرعة الجريان العرم فانها اكبر من سرعة هذه الموجة. شكل 3-7 يمثل مقارنة بين هاتين السرعتين في الجريانات المختلفة. وبالنسبة الى اي جريان فان التصريف في مقطع القناة

$$Q = VA$$

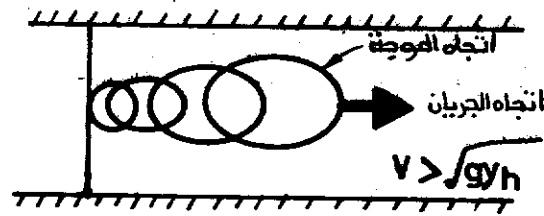
حيث ان V تمثل معدل السرعة وان A تمثل مساحة مقطع الماء العمودي على الجريان. وفي معظم المسائل التي تخص الجريان الثابت فان التصريف ثابت على امتداد (Reach) القناة، ففي هذه الحالة تكتب معادلة الاتصال لمقطع (1) ومقطع (2) (شكل 1-7) بالصيغة

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

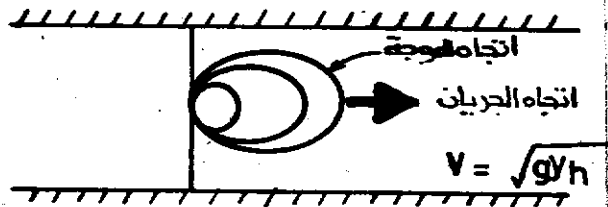
وبالنسبة الى الجريان الثابت غير المنتظم فان معادلة الطاقة بين مقطع 1



م - جريان هادئ



ب - جريان عرم



ج - جريان حرج

شكل 7 - 3

ومقطع 2 من شكل 1-7 أ تأخذ الصيغة

$$Z_1 + y_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 \cos \theta$$

$$+ \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

3 - 7

وفي حالة انتظام الجريان فان الزاوية θ تكون صغيرة فيؤخذ عمق الماء الرأسي بدل العمق العمودي على قعر القناة وبفرض ان $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ فان معادلة الطاقة اعلاه تأخذ الصيغة

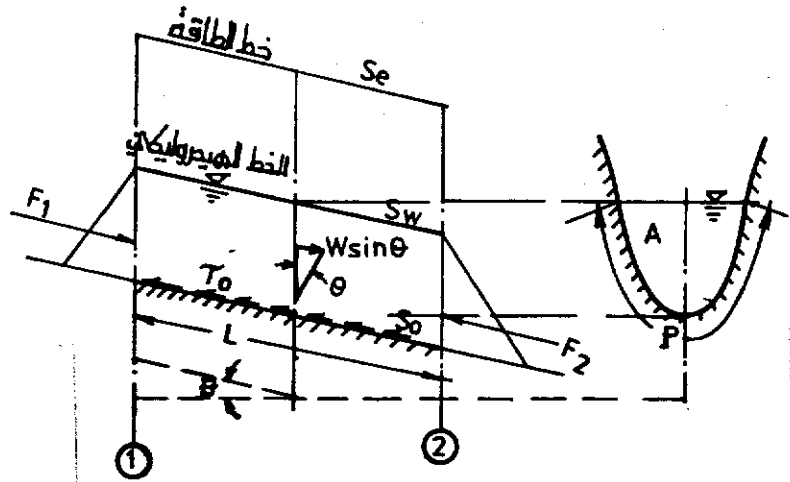
$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad 4-7$$

وتستخدم معادلة الطاقة والاتصال مع معادلات مقاومة الجريان مثل معادلة شيزي ومعادلة ماننك لحل المسائل المتعلقة بالقنوات المفتوحة.

2-7 الجريان الثابت المنتظم

بالنسبة الى للجريان المنتظم يكون قاع القناة ولسطح الطليق او لخط الهيدروليكي وخط الطاقة متوازية كما مبين في شكل 4-7. ومن اجل الحصول على المعادلة الاساسية للجريان المنتظم نعتبر الجسم المطلق المبين في شكل 4-7. ان القوى التي تؤثر على هذا الجسم نهايتي الجسم المطلق. (1) القوتان للهيدروستاتيكيان F_1 و F_2 اللتان تؤثران على حيث ان A تمثل مساحة المقطع و L تمثل طول الجسم المطلق اما مركبة هذه القوة باتجاه حركة الماء فانها تساوي $AYL \sin \theta$ حيث ان θ تمثل زاوية ميل قاع القناة. (3) قوى الضغط التي تسلطها جوانب وقاع القناة الا ان اتجاهها يكون عمودياً على اتجاه الجريان. (4) القوى المقاومة التي يسلمها السطح الصلب المقاوم على الماء وتكون عكس اتجاه الجريان وتساوي PLT_0 حيث ان T_0 تمثل معدل اجهاد القص في السطح المتاخم و P تمثل المحيط المبلول. وبتطبيق معادلة الزخم باتجاه الجريان حيث لا يوجد تغير في الزخم باتجاه الجريان لان معدل السرعة متساوي في مقطع (1) ومقطع (2) يمكن كتابة المعادلة

$$F_1 + AYL \sin \theta - F_2 - PLT_0 = 0$$



شكل 6-7 جسم مطلق في جيبان ثابت مستقيم

وبما أن $F_1 = F_2$ وأن $\sin \theta = \frac{h_r}{L}$ يمكن كتابة المعادلة اعلاه بالصيغة

$$AL \gamma \sin \theta = PL T_0 \quad 5-7$$

وعندما تكون الزاوية θ صغيرة فإن جيب الزاوية يقرب من ظلها ففي هذه الحالة يمكن كتابة

$$\sin \theta = \tan \theta = S_0 = S_e$$

وبتعويض هذه القيمة في المعادلة 5-7 نجد ان

$$AL \gamma S_e = PL T_0$$

ومن هذه المعادلة يمكن وجود المعادلة المعبرة عن معدل اجهاد القص في السطح المتأخم

$$T_0 = \gamma R_n S_e \quad 56-5$$

حيث ان R_h تمثل نصف القطر الهيدروليكي وتساوي مساحة المقطع المائي العمودي على الجريان مقسوما على المحيط المبلول. ولقد تم اشتقاق هذه المعادلة في الفصل الخامس بالنسبة للجريان في الانابيب واخذت نفس صيغة المعادلة اعلاه. ولقد اتضح بأن المعادلة التي تعبر عن اجهاد القص في جدار الانبوب هي

$$\tau_0 = f\rho \frac{V^2}{8} \quad 7-6$$

حيث ان f تمثل معامل الاحتكاك للانبوب و ρ تمثل الكثافة الكتلية و V تمثل معدل السرعة في المقطع. واذا اعتبرنا نصف القطر الهيدروليكي مغنيا للاختلاف في شكل الانبوب والفتحة المفتوحة يمكن جعل معادلة 5-6 مساوية الى معادلة 7-6 اي ان

$$f\rho \frac{V^2}{8} = \gamma R_h S_e$$

ومن المعادلة اعلاه يمكن التعبير عن معدل السرعة في المقطع

$$V = (8g/f)^{1/2} R_h^{1/2} S_e^{1/2}$$

فاذا اعتبرنا المقدار $(8g/f)^{1/2}$ معبرا عن معامل الاحتكاك في القنوات المفتوحة وجعله مساويا الى C فان المعادلة اعلاه تأخذ الصيغة

$$V = C \sqrt{R_h S_e} \quad 6-7$$

وهذه تعرف بمعادلة شيزي (Chezy Equation) تخليدا للذكرى العالم الفرنسي شيزي الذي حقق هذه المعادلة بالتجارب في سنة 1775 وان C تعرف بمعامل شيزي. وبالنسبة للتصريف فان المعادلة اعلاه تكتب بالصيغة

$$Q = CA \sqrt{R_h S_e} \quad 7-7$$

وحيث ان الجريان منتظم لذا يمكن كتابة المعادلتين 6-7 و 7-7 مع انحدار قاع القناة S_o بدلا من انحدار خط الطاقة S_e .

وبعد ان عممت معادلة شيزي فقد قام الكثير بتجارب ميدانية ومختبرية لتحديد قيم المعامل C ومعرفة المتغيرات التي يعتمد عليها. لعل ابسط علاقة واكثرها استعمالا هي تلك التي استندت الي تجارب العالم الايرلندي ماننك (Manning). واعتمادا على نتائج التجارب التي قام بها ونتائج الاخرين فقد اقترح المعادلة الوضعية

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n}$$

8-7

حيث ان n تمثل معامل الخشونة لماننك وتعويض قيمة C من هذه المعادلة في المعادلة 6-7 تكون النتيجة

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

9-7

ولقد قدمها العالم ماننك بهذه الصيغة في سنة 1889 وتسمى ايضا بمعادلة شيزي وماننك ولكنها تعرف في الوقت الحاضر بمعادلة ماننك فقط وهي اكثر استعمالا من غيرها نظرا لبساطتها والنتائج الجيدة التي تعطيها في التطبيق. اما معامل الخشونة لماننك فانه يعتمد على عوامل كثيرة منها خشونة السطح المتاخم (Boundary Surface Roughness) وعمق الماء وانتظام المقطع وامتداد المجرى ومقدار الترسيب والتآكل (Siltation and Scouring) والرسوبيات (Sedimentation) والعوارض وحجم وشكل القناة والتصريف وان هذه العوامل متداخلة. وعليه فان معامل الخشونة لماننك متغير بالرغم من اخذه ثابتاً في التطبيقات العملية حيث تعطى جداول تبين معدل قيمته اعتمادا على طبيعة المادة (جدول 1-7). وللخبرة العملية وحسن التخمين اهمية كبيرة في اختيار قيمة n الملائمة.

جدول 1-7 بعض قيم معامل الخشونة لمانتك

معامل الخشونة لمانتك n	القناة
	أ - أنابيب مملوءة جزئياً
0.024	1 - معدني ومموج للنزل
0.013	2 - خرساني
0.013	3 - فخاري للنزل
0.013	4 - مجرى
	ب - قنوات مطنة
0.012	1 - فولاذ
0.012	2 - خشب
0.012-0.013	3 - خرسانة
0.01	4 - رخام او طابوق
0.013-0.016	5 - زفت
0.022	6 - ترايبية نظيفة
0.027-0.035	7 - ترايبية مع حشائش
	ج - القنوات الطبيعية
0.03	1 - نظيفة ومستقيمة
0.04	2 - متموجة مع بعض المياه الراكدة
0.10	3 - مع حشائش كثيرة ومياه راکدة
0.04-0.05	4 - مجرى جبلي
0.025-0.100	5 - مجرى كبير

7 - 3 تعريفات في مقطع القناة الهندسي
 هناك بعض خواص القناة الهندسية التي لابد من تعريفها قبل مناقشة
 هيدروليک الجريان في هذه القنوات منها

العمق (Depth) y :

هو المسافة الرأسية من اوطاً نقطة في مقطع القناة الى السطح الطليق .

المنسوب (Stage) :

هو المستوى او المسافة الرأسية من مستوى اسناد معين الى السطح الطليق ويؤخذ في العراق عادة سطح البحر في الفاو الذي قيس سنة 1936 كمستوى اسناد .

العرض العلوي (Top width) T :

يمثل عرض مقطع القناة عند السطح الطليق .

المساحة المائية (Water Area) A :

تمثل مساحة المقطع المائي العمودي على الجريان .

المحيط المبلول (Wetted perimeter) P :

يمثل طول خط تقاطع المساحة المائية العمودية على الجريان مع السطح الصلب المتاخم .

نصف القطر الهيدروليكي (Hydraulic Depth) R_h :

يساوي المساحة المائية A مقسومة على المحيط المبلول P

العمق الهيدروليكي (Hydraulic Depth) y_h :

يساوي المساحة المائية A مقسومة على العرض العلوي T اي ان

$$y_h = A / T$$

10 - 7

معامل المقطع لحساب الجريان الحرج

Z (Section Factor For Critical Flow Computation)

يساوي حاصل ضرب المساحة المائية في جذر العمق الهيدروليكي اي

$$Z = A \sqrt{y_h} = A \sqrt{\frac{A}{T}} \quad \text{ان} \quad 11_7$$

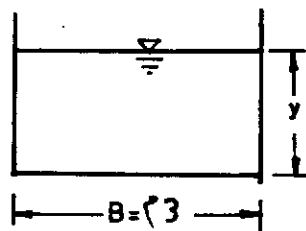
معامل المقطع لحساب الجريان المنتظم

(Section Factor For Uniform Flow Computation)

يساوي حاصل ضرب المساحة المائية في نصف القطر الهيدروليكي مرفوعاً الى الاس $2/3$. جدول 2-7 يبين الكميات اعلاه بالنسبة الى اربعة اشكال هندسية هي المستطيل وشبه المنحرف والمثلث والدائري التي هي اكثر استعمالاً في القنوات المفتوحة.

مثال 1 - 7

قناة خرسانية مستطيلة (Rectangular) المقطع (شكل 5-7) يجري فيها ماء بمعدل $5 \text{ م}^3/\text{ثا}$. فاذا كان عرض القناة 3م وانحدارها 0.0004 ، احسب عمق الماء ومعدل السرعة في القناة ؟



شكل 5-7

الحل

ان معامل الخشونة لمانتك (جدول 1-7)

$$n = .013$$

المساحة المائية

$$A = 3y$$

المحيط المبلول

$$P = 3 + 2y$$

نصف القطر الهيدروليكي

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{3y}{3+2y}$$

وباستعمال معادلة ماننك

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S_0^{1/2}$$

فان

$$5 = \frac{1}{.013} (3y) \left(\frac{3y}{3+2y} \right)^{2/3} (.0004)^{1/2}$$

$$1.083 = y \left(\frac{3y}{3+2y} \right)^{2/3}$$

بطريقة التجربة والخطأ نجد ان

$$y = 1.35 \text{ m}$$

وعليه فان المساحة المائية

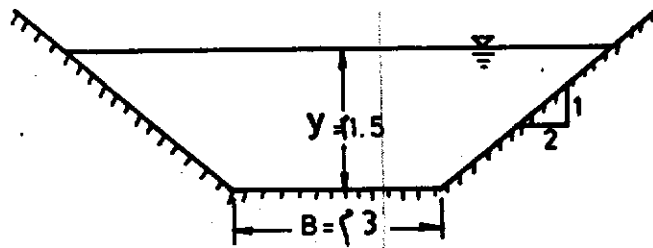
$$A = By = 3 \text{ m} (1.35 \text{ m}) = 4.05 \text{ m}^2$$

وان معدل السرعة

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5 \text{ m}^3/\text{s}}{4.05 \text{ m}^2} = 1.235 \text{ m/s}$$

مثال 2 - 7

قناة شبه منعرفة (Trapezoidal) كما مبينة في شكل 6-7 فيها عمق الماء 1.5 م ومعامل الخشونة لماتنك 0.03 وان انحدار قاع القناة 0.0009 ، احسب التصريف ؟



شكل 6 - 7

الحل

ان مساحة المقطع المائي

$$A = By + zy^2$$

$$= [3 + 2(1.5)]1.5 = 9 \text{ m}^2$$

وان المحيط المبلول

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

$$= 3 + 2(1.5) \sqrt{5} = 9.708 \text{ m}$$

وعليه فان نصف القطر الهيدروليكي

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{9m^2}{9.708m} = 0.927m$$

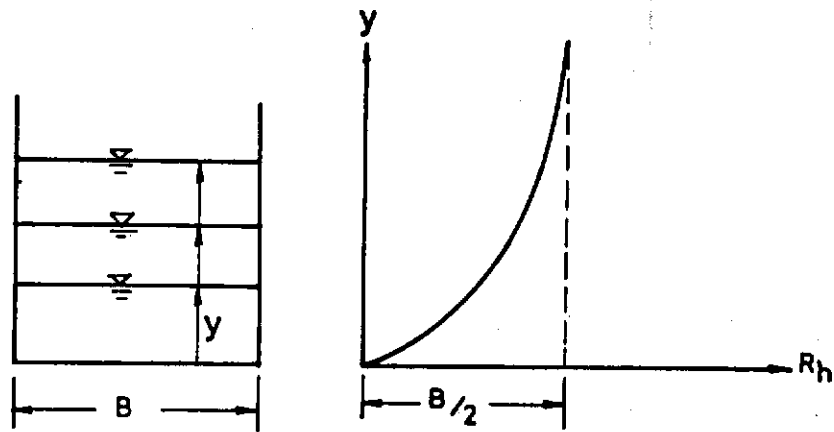
والتصريف من معادلة ماننك

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

$$= \frac{1}{.03} (9) (0.927)^{2/3} (.0009)^{1/2} = 8.556 m^3/s$$

4 - 7 المقطع الامثل

بالنسبة الى شكل مقطع معين يعرف المقطع الامثل (Optimum Section) بأنه المقطع الذي يعطي اكبر مساحة مائية لكل وحدة طول من المحيط المبلول او الذي يعطي اقل طول للمحيط المبلول لكل وحدة مساحة مائية من المقطع. ان في مثل هذا المقطع يسمى احيانا. باكفاً مقطع (Most Efficient Section) حيث يأخذ نصف القطر الهيدروليكي R_h حده الاعلى بالنسبة لشكل المقطع المعين فبالنسبة الى مقطع القناة المستطيلة الشكل (Rectangular) المبين في شكل 7-7 فان مساحة المقطع



شكل 7-7

$$A = By$$

12 - 7

وان المحيط المبلول

$$P = B + 2y$$

13 - 7

وبالتعويض بقيمة B من معادلة 12-7 في معادلة 13-7 نجد ان

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

ومن اجل ان نحصل على اقل محيط مبلول في مساحة مائية معينة نأخذ
تفاضل هذه المعادلة ونجعله مساويا الى الصفر فنجد

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

اي ان

$$A = 2y^2 = By$$

ومنها نحصل على

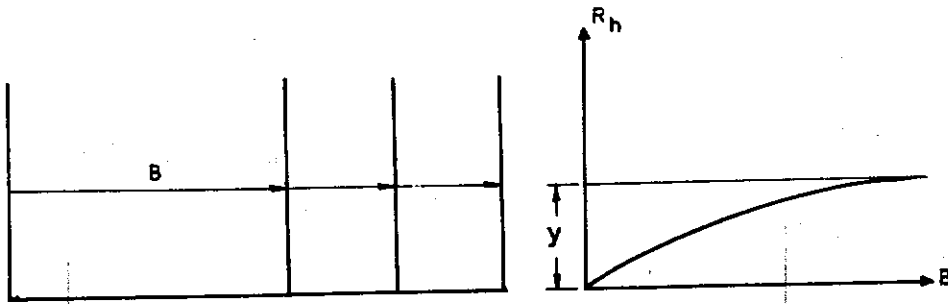
$$y = B/2$$

وعليه من اجل ان يصل الشكل المستطيل الى المقطع الامثل يؤخذ عمق
الماء مساويا الى نصف عرض القناة اي انه نصف مربع وعندها يصل نصف
القطر الهيدروليكي حده الاعلى كما مبين في شكل 7-7. وبما ان نصف القطر
الهيدروليكي يساوي

$$R_h = \frac{By}{B + 2y}$$

لذا يكون تغير R_h مع y بالصيغة التالية : عندما يكون $y=0$ يكون $R_h=0$ وعندما يكون $y=\infty$ يكون $R_h = B/2$ كما مبين في شكل 7-7 وتغير R_h

مع العرض يكون : مع $B=0$ فان $R_h=0$ ومع $B=\infty$ فان $R_h=y$ لذا في القنوات العريضة وغير العميقة فان نصف القطر الهيدروليكي يقرب من العمق كما مبين في شكل 8-7 .



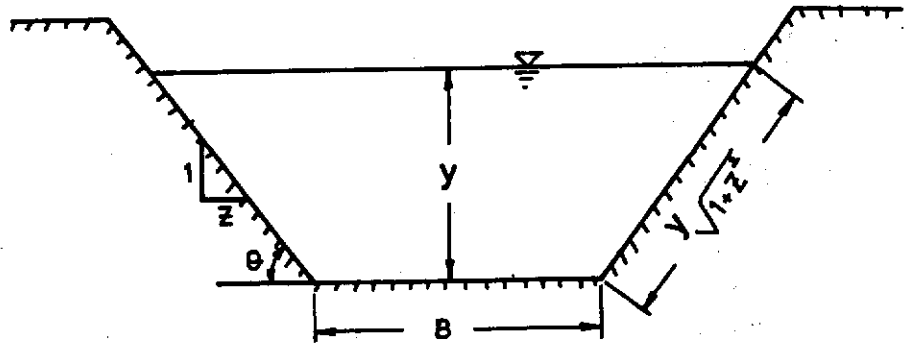
شكل 8-7

ومن اشكال المقاطع المستعملة كثيرا في تصاميم القنوات المفتوحة هو مقطع شبه المنحرف (Trapezoidal Cross-Section) المبين في شكل 9-7 وبالنسبة الى هذا المقطع فان المساحة المائية

$$A = (B + zy)y = \left(B + \frac{y}{\tan \theta} \right) y \quad 14-7$$

وان المحيط المبلول

$$P = B + \frac{2y}{\sin \theta} \quad 15-7$$



شكل 9-7 قناة شبه منحرفة

ومن معادلة 14-7 فان

$$B = \frac{A}{y} - \frac{y}{\tan \theta}$$

وعند تعويض هذا المقدار في المعادلة 15-7 نجد ان

$$P = \frac{A}{y} - \frac{y}{\tan \theta} + \frac{2y}{\sin \theta}$$

وبأخذ تفاضل هذه المعادلة بالنسبة الى الزاوية θ وجعل الناتج مساويا الى الصفر كي نحصل على الزاوية التي تعطي اقل محيط مبلول في مساحة مائية معينة نجد ان

$$\frac{dP}{d\theta} = 0 - y \frac{y}{d\theta} \left(\frac{1}{\tan \theta} \right) + y \frac{y}{d\theta} \left(\frac{1}{\sin \theta} \right) = 0$$

وبعد تبسيط هذه المعادلة يكون الناتج

$$y \csc^2 \theta - 2y \cot \theta \quad \csc \theta = 0$$

ومن هذه المعادلة نحصل على

$$\cos \theta = \frac{1}{2}$$

اي ان

$$\theta = 60^\circ$$

او

$$Z = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

لذا فان امثل شبه منحرف هو نصف الشكل السداسي. وبنفس الطريقة يمكن ان نبرهن بأن امثل مقطع دائري هو نصف الدائرة وان امثل مقطع مثلث هو نصف المربع. جدول 3-7 يبين المقاطع المثلى لمختلف الاشكال حيث وضعت كل من الكميات المساحة A والمحيط المبلول P ونصف القطر الهيدروليكي R_h وعرض السطح المائي الطوي T والعمق الهيدروليكي y_h ومعامل المقطع (Section Factor) لحساب الجريان المنتظم بدلالة العمق ومن بين امثل المقاطع المبينة في الجدول اعلاه فان مقطع نصف الدائرة يعطي اكبر مساحة لمحيط مبلول معين، فلو كان المحيط المبلول يساوي 1.0 فان A/P تساوي في الدائرة $1/4\pi$ في حين انها اصغر في المربع اذ تساوي $1/16$ وهكذا وبسبب صعوبة تنفيذ هذا المقطع في المشاريع الاروائية فانه نادر الاستعمال ويستعمل بدله عادة مقطع شبه المنحرف الذي يأتي بعده في هذه الميزة.

مثال 3-7

جد المقطع الامثل لقناة مستطيلة (شكل 10-7) مبطنه بالخرسانه ($n=0.15$) انحدار قاعها 0.0009 وتحمل تصريفًا مقداره $3 \text{ م}^3/\text{ثا}$.

الحل

بالنسبة الى امثل مقطع شكله مستطيل يكون نصف مربع وعليه فان

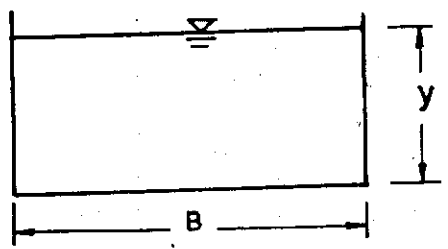
جدول 3-7 لتقل مقطع لبعض أشكال المتوسطة اللولبية اللولبية

اللفطع

المساحة الكلية لللولب نصف القطر برونزا المسطح العمق
المحوري للمحوري

AR ²	x	r	R ₀	P	A
1.000 y ²	$\frac{3}{4}y$	$\frac{1}{4}\sqrt{3}y$	$\frac{1}{2}y$	$2\sqrt{3}y$	$\sqrt{3}y^2$
Trapezoidal (مستطيل)					
1.26 y ²	y	2y	$\frac{1}{2}y$	4y	2y ²
Rectangular (مستطيل)					
0.5 y ²	$\frac{1}{4}y$	2y	$\frac{1}{2}\sqrt{2}y$	2 $\sqrt{2}y$	y ²
Triangular (مخمس)					
0.889 y ²	$\frac{1}{4}y$	2y	$\frac{1}{2}y$	y	$\frac{1}{2}y^2$
Circular (دائري)					

$$y = B/2, A = zy^2, R_h = y/2$$



شكل 10-7

ومن معادلة ماننك وبفرض ان الجريان منتظم يمكن كتابة المعادلة

$$AR_h^{2/3} = \frac{nQ}{\sqrt{S_0}} = \frac{(0.015)(3)}{\sqrt{.0009}} = 1.5$$

وعليه فان

$$(2y)^2 \left(\frac{y}{2}\right)^{2/3} = 1.5$$

$$y^{4/3} = 1.191$$

$$y = 1.068 \text{ m}$$

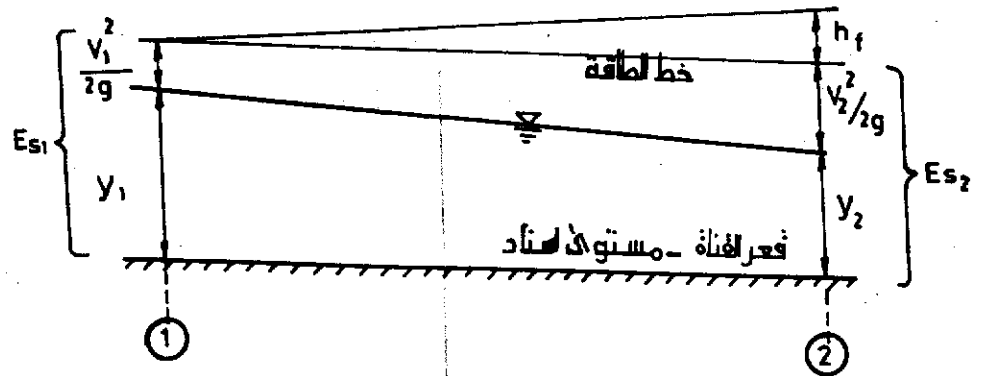
$$B = 2y = 2.136 \text{ m}$$

اما معدل السرعة

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3}{1.068 \times 2.136} = 1.315 \text{ m/s}$$

5-7 الطاقة النوعية

تعرف الطاقة النوعية (Specific Energy) بأنها الطاقة لكل نيوتن مقيسة فوق قعر القناة اي انها المسافة الرأسية (اي الارتفاع) من قعر القناة الى خط الطاقة (شكل 11-7).



شكل 11 - 7

لذا فان الطاقة النوعية في مقطع 1 -

$$E_{s1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

حيث ان y_1 و V_1 تمثلان العمق ومعدل السرعة في مقطع (1) على التوالي. وبنفس الاسلوب فان الطاقة النوعية في مقطع 2

$$E_{s2} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

وبصورة عامة تكتب الطاقة النوعية

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

16 - 7

وبالنسبة الى الجريان الثابت فان التصريف ثابت فعند التعويض عن معدل السرعة بـ Q/A في المعادلة اعلاه تكون النتيجة

$$E_s = y + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad 17 - 7$$

ان طرح الطاقة النوعية يفيد في زيادة معرفة هيدروليك الجريان في القنوات المفتوحة. ومن اجل توضيح ذلك نبدأ بالقناة المستطيلة العريضة جدا. ففي هذه الحالة فان التصريف لكل وحدة عرض

$$q = \frac{Q}{B}$$

وان معدل السرعة

$$v = q/y$$

فعند تعويض قيمة v من المعادلة اعلاه في المعادلة 16-7 نجد ان

$$E_s = y + \frac{1}{2g} (q/y)^2 \quad 18 - 7$$

ومن هذه المعادلة نحصل على المعادلة المعبرة عن التصريف لكل وحدة عرض

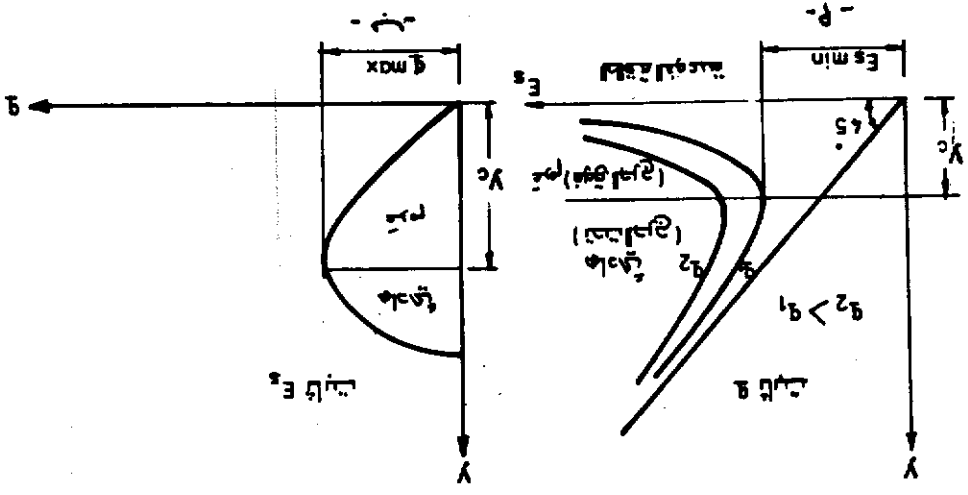
$$q = \sqrt{2g(y^2 E_s - y^3)} \quad 19 - 7$$

وعند رسم المعادلة 18-7 بين الطاقة النوعية E_s والعمق y بتثبيت صرف q تكون النتيجة كما مبين في شكل 12-7 أ. وبرسم المعادلة 19-7

(Alternate Depths)

- 1 - ان التصريف الواحد يوجد منحني واحد له نقطة انحراف واحدة والتي هي نقطة الانعطاف (Deflection Point) التي تربط بين المنحنيين. المنحني الثاني هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الثالث هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الرابع هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين.
- 2 - ان المنحني الثاني يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الثالث هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الرابع هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين.
- 3 - المنحني الثاني يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الثالث هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الرابع هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين.
- 4 - المنحني الثاني يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الثالث هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين. المنحني الرابع هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين.

شكل 7. 2. منحنى الطاقه المتبقية في المجرى



بين التصريف q والمنحني y المنحني الثاني يكون المنحني q المنحني الثالث هو المنحني الذي يمتد الى اليمين من نقطة الانعطاف الى اليمين.

7 - 6 العمق الحرج

يتبين من الشكل 12-7 بأن العمق الحرج (Critical Depth) يحدث عندما تكون الطاقة النوعية في حدها الأدنى أو التصريف q في حده الأعلى وان في هذه الحالة يأخذ العمقان البديلان نفس العمق وهذا العمق الحرج. ان معرفة هذا العمق يفيد في تحديد نوع الجريان (تحت الحرج او فوق الحرج). ويمكن اخذ تفاضل المعادلتين 18-7 و 19-7 مع العمق وجعل الناتج مساويا الى الصفر فتكون النتيجة

$$q = \sqrt{g y_c^3} \quad y_c = \sqrt[3]{q^2/g} \quad 20-7$$

وبتعويض قيمة q من المعادلتين 20-7 في المعادلة 18-7 نحصل على

$$y_c = \frac{2}{3} E_{min} \quad E_{min} = \frac{3}{2} y_c \quad 21-7$$

ومن المعادلة 20-7 يتضح بأن العمق الحرج يعتمد على التصريف فقط لذا يمكن ان يستفاد من هذه الميزة في قياس التصريف في القنوات المفتوحة. فيمكن وضع اجهزة تسبب حدوث العمق الحرج وبمعرفة هذا العمق يمكن حساب التصريف من المعادلة 20-7. وبما ان التصريف في هذه الحالة يساوي

$$q = V_c y_c \quad 22-7$$

حيث ان V_c تمثل السرعة الحرجة او معدل السرعة في المقطع عندما يكون الجريان حرج. وبتساوي المعادلتين 20-7 و 22-7 نجد ان

$$V_c = \sqrt{g y_c} \quad 23-7$$

وهي المعادلة التي تعطي سرعة الموجة في الماء الضحل التي تم ذكرها

في جزء 1-7. لذا عند حدوث العمق الحرج تتساوى سرعة الماء مع سرعة الموجة الناشئة فيه.

يمكن وجود الانحدار الحرج في القنوات المستطيلة الشكل حيث يؤخذ بنظر الاعتبار بأن نصف القطر الهيدروليكي يقرب من العمق وعليه فإن التصريف من معادلة ماننك

$$q = \frac{1}{n} y_c^{2/3} y_c^{1/2} S_c \quad 24 - 7$$

وبتساوي المعادلة 24-7 والمعادلة 20-7 نجد ان الانحدار الحرج

$$S_c = \frac{g n^2}{y_c^{1/3}} \quad 25 - 7$$

فإذا كان الانحدار اقل من الانحدار الحرج يكون هذا الانحدار خفيفاً (Mild slope) وإذا كان الانحدار اكبر من الانحدار الحرج فإنه انحدار حاد (Steep slope). وعليه فإن الجريان تحت الحرج يحدث على انحدار خفيف. وان الجريان فوق الحرج يحدث على انحدار حاد والجريان الحرج يحدث على انحدار حرج وذلك في الجريان المنتظم

مثال 4 - 7

قناة مستطيلة الشكل عرضها 8م. لقد اصبح عمق الماء 10م في تصريف مقداره 10³ م³/ثا، هل هذا الجريان فوق الحرج ام تحت الحرج؟ اذا كان معامل الخشونة لماننك 0.02، فما هو الانحدار الحرج لهذه القناة في هذا التصريف؟ ما هو انحدار القناة الذي ينتج عنه جريان منتظم وعمق 25م؟

الحل

ان التصريف لكل وحدة عرض من القناة

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{10 \text{ m}^3/\text{s}}{8 \text{ m}} = 1.25 \text{ m}^3/\text{s} / \text{m}$$

وعليه فإن العمق الحرج

$$y_c = \sqrt[3]{q^2/g} = \sqrt[3]{\frac{(1.25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m})^2}{9.8 \text{ m}/\text{s}^2}} = 0.542 \text{ m}$$

وبما ان عمق الماء في القناة اكبر من العمق الحرج فإن الجريان هو جريان تحت الحرج . اما الانحدار الحرج

$$S_c = \frac{g n^2}{y_c^3} = \frac{(9.8)(.02)^2}{(1.542)^3} = 4.81 \times 10^{-3}$$

ان الجواب اعلاه يعتبر تقريبا لان نصف القطر الهيدروليكي قرب لمتساوى مع العمق . ولحساب انحدار القناة ينتج عنه جريان منتظم بعمق 1.25 م نطبق معادلة ماننك

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

$$S_o = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R_h^{4/3}} = \frac{(1.02)^2 (10)^2}{(10)^2 \left(\frac{10}{10.5}\right)^{4/3}} = \frac{4 \times 10^{-4}}{.93698} = 4.27 \times 10^{-4}$$

بما ان هذا الانحدار اقل من الانحدار الحرج فإنه انحدار خفيف .

7 - الطاقة النوعية في القنوات غير المستطيلة

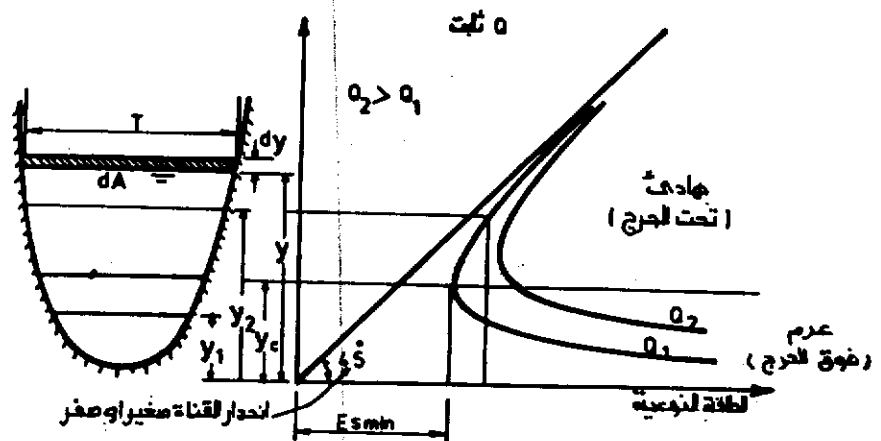
ان المعادلة 17-7 تمثل الطاقة النوعية للجريان في اي مقطع كالمقطع بين في شكل 13-7 اي ان

$$E_s = y + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A} \right)^2$$

17 - 7

حيث ان المساحة A تعتمد على العمق y. وبثبيت التصريف Q واخذ تفاضل المعادلة اعلاه مع العمق نجد ان

$$\frac{dE_s}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy} = 1 - \frac{V^2}{gA} \frac{dA}{dy}$$



شكل 13.7 منحنى الطاقة النوعية ضد العمق

ان المساحة المائبة dA قرب السطح الطليق تساوي Tdy لذا فان،

$$\frac{dA}{dy} = T$$

وان العمق الهيدروليكي

$$y_h = \frac{A}{T}$$

وبتعويض هاتين القيمتين في المعادلة اعلاه نحصل على

$$\frac{dE_s}{dy} = 1 - \frac{V^2 T}{gA} = 1 - \frac{V^2}{gy_h}$$

في حالة الجريان الحرج فان الطاقة النوعية في حدها الادنى وان $\frac{dE_s}{dy} = 0$ لذا يمكن كتابة المعادلتين

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{y_h}{2} \quad 26-7$$

و

$$\frac{Q^2 T}{gA^3} = 1 \quad 27-7$$

لذا يمكن القول بأنه في حالة الجريان الحرج فان شحنة السرعة تساوي نصف العمق الهيدروليكي. ويمكن كتابة المعادلة 26-7 بالصيغة

$$\frac{V^2}{gy_h} = 1 = \frac{Q^2 T}{gA^3} \quad 28-7$$

ان الكميات في المعادلة 28-7 تمثل تعريف رقم فرود للجريان في القنوات المفتوحة بصورة عامة حيث ان هذا الرقم يساوي واحداً في حالة الجريان الحرج.

لقد استخدمت عدة فرضيات للوصول الى المعادلة 28-7 وهي ان الجريان منتظم او تغير تدريجياً وان زاوية ميل قاع القناة صغيرة ومعامل شحنة السرعة يساوي واحداً. فاذا كان هذا المعامل لايساوي واحداً فان المعادلة 28-7 تأخذ الصيغة

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{y_h}{2} \quad 29-7$$

وفي حالة حصول زاوية كبيرة لقاء القناة فان المعادلة تكتب

$$\alpha \frac{V^2}{2g} = \frac{y_h \cos \theta}{2} \quad 30 - 7$$

وفي هذه الحالة ياخذ رقم فرود القيمة

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy_h \cos \theta / \alpha}} \quad 31 - 7$$

ولقد فرض في الاشتقاقات اعلاه ان α ثابتة وبما ان هذا المعامل يتغير مع العمق فتصبح نتائج المعادلات اعلاه غير دقيقة. وبالنسبة لتحليل الجريان تؤخذ الحالات

(1) $F_r < 1$ الجريان تحت الحرج وعمق الماء اكبر من العمق الحرج والانحدار خفيف واقل من الانحدار الحرج.

(2) $F_r = 1$ الجريان حرج وعمق الماء يساوي العمق الحرج والانحدار يساوي الانحدار الحرج.

(3) $F_r > 1$ الجريان فوق الحرج وعمق الماء اصغر من العمق الحرج والانحدار حاد واكبر من الانحدار الحرج.

ويمكن الحصول على الانحدار الحرج في القنوات غير المستطيلة وذلك بالحصول على التصريف من معادلة 28-7 اي ان

$$Q = \sqrt{gA^3/T}$$

وجعله مساويا الى التصريف الذي يعبر عنه من معادلة ماننك

$$Q = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} S_c^{1/2}$$

وبعدها نحصل على تعبير الى الانحدار الحرج