

حساب التدفق المنتظم

(٦, ١) النقل لمقطع القناة

يمكن التعبير عن تصرف التدفق المنتظم في القناة المائية على أنه حاصل ضرب السرعة، الذي تمثله المعادلة رقم (٥, ١)، والمساحة المائية، أو:

$$(٦, ١) \quad Q = V A = C A R^x S^y = K S^y$$

حيث إن:

$$(٦, ٢) \quad K = C A R^x$$

والحد K يعرف بنقل مقطع القناة المائية، وهو مقياس لسعة حمل مقطع القناة المائية، حيث إنه يتناسب طردياً مع المقدار Q .

وعند استخدام معادلة تشيزي أو معادلة ماننق على أنها معادلة التدفق المنتظم، أي، عندما تكون $y = 1/2$ ، فإن التصرف الناتج من المعادلة رقم (٦, ١) يصبح:

$$(٦, ٣) \quad Q = K \sqrt{S}$$

ومعامل النقل يصبح

$$(٦, ٤) \quad K = \frac{Q}{\sqrt{S}}$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لحساب النقل عندما يكون تصرف وميل القناة المائية معلومين.

وعند استخدام معادلة تشيزي، تصبح المعادلة رقم (٦, ٢) كالآتي:

$$(٦, ٥) \quad K = C A R^{1/2}$$

حيث إن C معامل تشيزي للمقاومة. وبالمثل عند استخدام معادلة ماننق:

$$(٦, ٦) \quad K = \frac{1.49}{n} A R^{2/3}$$

وتستخدم المعادلتان المذكورتان أعلاه لحساب النقل عندما تكون مساحة المياه ومعامل المقاومة أو معامل الخشونة معلومين. ولأن معادلة ماننق تستخدم بشكل مكثف، فإن غالبية المناقشات والحسابات التالية تعتمد على المعادلة رقم (٦,٦).

(٦,٢) معامل المقطع لحساب التدفق المنتظم

يُطلق على المقدار $AR^{2/3}$ معامل المقطع لحساب التدفق المنتظم، وهو عنصر مهم في حساب التدفق المنتظم، ومن المعادلة رقم (٦,٦)، يمكن التعبير عن هذا المعامل كما يلي:

$$(٦,٧) \quad AR^{2/3} = \frac{nK}{1.49}$$

ومن المعادلة رقم (٦,٤):

$$(٦,٨) \quad AR^{2/3} = \frac{nQ}{1.49\sqrt{S}}$$

وبشكل أساسي، تنطبق المعادلة رقم (٦,٨) على مقطع القناة المائية عندما يكون التدفق منتظماً، ويحتوي الطرف الأيمن من المعادلة على قيم n ، Q ، و S ، ولكن الطرف الأيسر منها يعتمد فقط على المساحة المائية. وبالتالي، يتضح أنه، لقيم ما للمقادير n ، Q ، و S ، هناك عمق واحد فقط محتمل للحفاظ على التدفق منتظماً، بفرض أن قيمة المقدار $AR^{2/3}$ تزداد دائماً مع الزيادة في العمق، مما يعد أمراً صحيحاً في أغلب الحالات. وهذا العمق هو العمق العادي. وعندما تكون قيمتا n و S معلومتين في مقطع القناة المائية، فيمكن من المعادلة رقم (٦,٨) ملاحظة أن هناك تصرفاً واحداً فقط ممكناً للحفاظ على التدفق منتظماً عبر المقطع، بفرض أن قيمة المقدار $AR^{2/3}$ تزداد دائماً مع الزيادة في العمق^١. وهذا التصرف هو التصرف العادي.

وتعد المعادلة رقم (٦,٨) أداة مفيدة جداً لحساب وتحليل التدفق المنتظم. وعندما تكون قيم التصرف، والميل، والخشونة معلومة، فإن هذه المعادلة تعطي معامل المقطع $A_n R_n^{2/3}$ ومن ثم العمق العادي y_n . ومن ناحية أخرى، عندما تكون قيم n ، S ، والعمق، ومن ثم معامل المقطع، معلومة، فيمكن حساب التصرف العادي Q_n من هذه المعادلة بالصيغة التالية:

$$(٦,٩) \quad Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} \sqrt{S}$$

(١) وهذا أمر صحيح للقنوات المائية التي تزداد فيها دائماً قيمة المقدار $AR^{2/3}$ مع زيادة العمق، حيث إن المعادلة رقم (٦,٨) ستعطي قيمة واحدة للمقدار $AR^{2/3}$ ، والتي بدورها تعطي قيمة واحد فقط للعمق. وفي حالة وجود قناة توصيل مغلقة لها قمة تنغلق تدريجياً، فإن قيمة $AR^{2/3}$ ستزداد في البداية مع العمق ثم تقل مع العمق عند الاقتراب من العمق الكامل، لأن أكبر قيمة للمقدار $AR^{2/3}$ توجد عادةً في مثل هذه القناة المغلقة عند عمق يقل قليلاً عن العمق الكامل. ونتيجة لهذا، فمن المحتمل الحصول على عمقين اثنين لنفس القيمة للمقدار $AR^{2/3}$ ، واحدة أكبر والثانية أصغر من عمق أكبر قيمة للمقدار $AR^{2/3}$ ، ولزيد من المناقشة حول هذا الموضوع انظر الجزء رقم (٦,٤).

وهذا بالضرورة هو حاصل ضرب مساحة المياه والسرعة كما يتحدد بمعادلة ماننق، والرمز السفلي n يتم استخدامه في بعض الأحيان لتمييز حالة التدفق المنتظم.

ولتبسيط الحسابات، فإن المنحنى اللابعدى الذي يصور العلاقة بين العمق ومعامل المقطع $AR^{2/3}$ (الشكل رقم (٦,١)) تم إعداده لمقاطع القنوات المائية مستطيلة الشكل، وشبه المنحرفة، والدائرية. وهذه المنحنيات المفسرة لتلقاها نفسها ستساعد على تحديد العمق لمقطع قناة ما $AR^{2/3}$ ، والعكس بالعكس. ويمكن أيضاً إيجاد قيم $AR^{2/3}$ للمقطع الدائري من الجدول الوارد في الملحق "أ".

(٦,٣) الأس الهيدروليكي لحساب التدفق المنتظم

حيث إن K هو دالة في عمق التدفق y ، فيمكن افتراض أن:

$$(٦,١٠) \quad K^2 = Cy^N$$

حيث إن C معامل، و N عامل يطلق عليه الأس الهيدروليكي لحساب التدفق المنتظم.

ومن التمثيل اللوغاريتمي طرفي المعادلة رقم (٦,١٠)، وبإجراء التفاضل نسبة إلى $\ln y$:

$$(٦,١١) \quad \frac{d(\ln K)}{d(\ln y)} = \frac{N}{2}$$

والآن، بأخذ لوغاريتم طرفي المعادلة رقم (٦,٦)، نجد أن $K = 1.49AR^{2/3}/n$ ، ثم القيام بإجراء التفاضل لهذه المعادلة نسبة إلى $\ln y$ مع افتراض أن n لا تعتمد على y :

$$(٦,١٢) \quad \frac{d(\ln K)}{d(\ln y)} = \frac{y}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3} \frac{y}{R} \frac{dR}{dy}$$

وحيث إن $dA/dy = T$ ، و $R = A/P$ ، فإن المعادلة المذكورة أعلاه تصبح:

$$(٦,١٣) \quad \frac{d(\ln K)}{d(\ln y)} = \frac{y}{3A} \left(5T - 2R \frac{dP}{dy} \right)$$

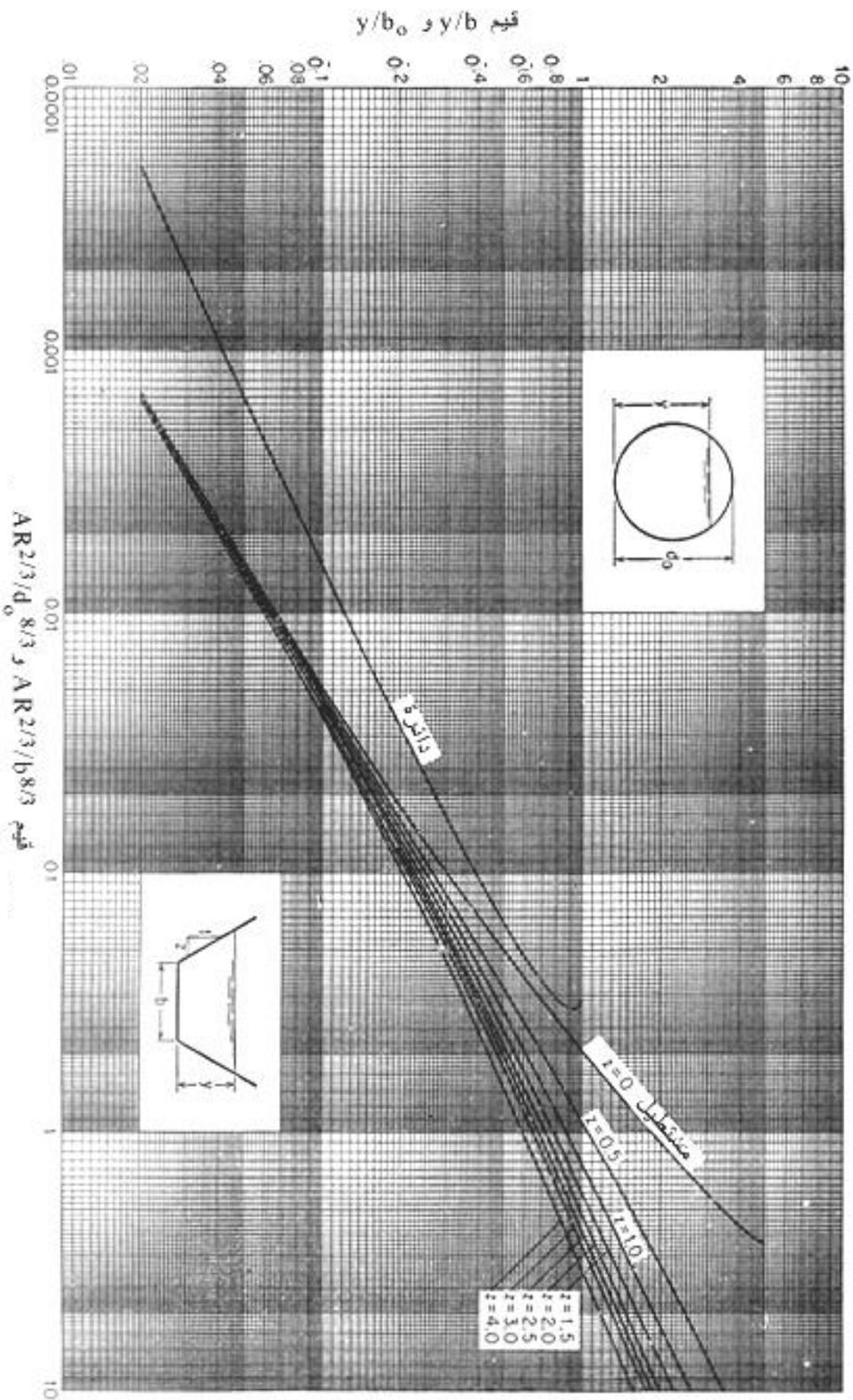
وبمساواة الطرف الأيمن من المعادلة رقم (٦,١١) مع الطرف الأيمن من المعادلة رقم (٦,١٣) والحل

للحصول على N :

$$(٦,١٤) \quad N = \frac{2y}{3A} \left(5T - 2R \frac{dP}{dy} \right)$$

وهذه هي المعادلة العامة للأس الهيدروليكي N . ولقطع القناة الذي على شكل شبه منحرف فإن هذا المقطع يكون له قاع عرضه b وميل قدره 1 على z ، ويمكن الحصول على معادلات المكونات A ، و T ، و P ، و R من الجدول رقم (٢,١). وبالتعويض عن هذه المكونات في المعادلة رقم (٦,١٤) والتبسيط، تصبح المعادلة الناتجة^٢ كما يلي:

(٢) تم تطوير هذه المعادلة [1] من خلال أعمال تشوجيف [2] Chugaev عن طريق استخدام معادلة تشيزي.



$$(٦, ١٥) \quad N = \frac{10}{3} \frac{1+2z(y/b)}{1+z(y/b)} - \frac{8}{3} \frac{\sqrt{1+z^2}(y/b)}{1+2\sqrt{1+z^2}(y/b)}$$

وهذه المعادلة تبين أن قيمة N للمقطع شبه المنحرف هي دالة في z و y/b . وللقيم $z = ٠, ٠, ٥, ١, ٠, ٠, ١, ٥, ٢, ٠, ٢, ٥, ٣, ٠, ٤, ٠$ ، يمكن إعداد عائلة من المنحنيات التي تمثل N مقابل y/b (الشكل رقم (٦, ٢))، وهذه المنحنيات توضح أن قيمة N تتغير في المدى من $٢, ٠$ إلى $٥, ٣$.

إن منحنى المقطع الدائري الذي يتم فيه تمثيل N مقابل y/d_0 ، حيث إن d_0 القطر، موضح كذلك في الشكل رقم (٦, ٢). ويبين هذا المنحنى أن قيمة N تقل بشكل سريع مع اقتراب عمق التدفق من قمة القناة المائية. وإن مزيداً من التحليل الرياضي يبين أن قيمة N ستساوي الصفر عندما تكون $y/d_0 = 0.938$ ، وستصبح قيمتها سالبة عند أعماق أكبر من هذا، والمغزى من معرفة هذه الحقيقة سيتم مناقشته لاحقاً في هذا الجزء والجزء التالي.

ولمقاطع القناة المائية التي لها أشكال أخرى غير الشكل المستطيل، وشبه المنحرف، والدائري، فإن القيم الدقيقة للأس N يمكن حسابها مباشرة من المعادلة رقم (٦, ١٤)، بفرض أن المقدار dP/dy يمكن تقديره. ولغالبية القنوات المائية، فيما عدا القنوات المائية التي يوجد بها تغيرات فجائية في شكل مقطعها العرضي ولقنوات التوصيل المغلقة التي لها قمة تنغلق تدريجياً، فإن التمثيل اللوغاريتمي للمقدار K على المحور الصادي مقابل العمق على المحور السيني (الشكل رقم (٦, ٣)) سيبدو تقريباً كما لو كان خطأً مستقيماً. ويمكن ملاحظة هذا أيضاً من المنحنيات عديدة الأبعاد التي تبين قيم المقدار $AR^{2/3}$ في الشكل رقم (٦, ١)، والتي يتم تمثيلها بشكل مماثل فيما عدا تبديل المحور الصادي بالمحور السيني. وإذا تم افتراض قيمة n ثابتة، فإن المعادلة رقم (٦, ٦) تبين أن $K \propto AR^{2/3}$ ، ومن ثم، فمن هذه المنحنيات التي تمثل قيم $AR^{2/3}$ يجب أن توضح نفس الخصائص كما لو تم تمثيل منحنيات المقدار K . ومن المعادلة رقم (٦, ١٠)، يمكن ملاحظة أن الأس الهيدرووليكي لمدي الخط المستقيم يساوي ضعف ميل الخط المستقيم الذي تم تمثيله. وبالتالي، إذا تم أخذ نقطتين لهما الإحداثيات (K_1, y_1) و (K_2, y_2) من على الخط المستقيم، فإن القيمة التقريبية للمقدار N يمكن حسابها عن طريق المعادلة التالية:

$$(٦, ١٦) \quad N = 2 \frac{\log(K_1/K_2)}{\log(y_1/y_2)}$$

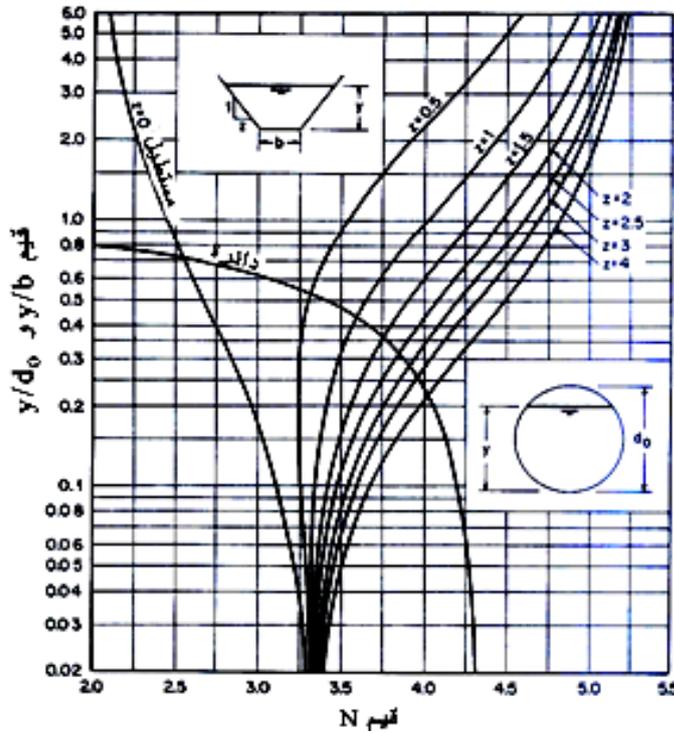
وعندما يتغير مقطع القناة المائية على نحو فجائي نسبة إلى العمق، فإن الأس الهيدرووليكي سيتغير تبعاً لهذا، وهناك العديد من المقاطع النمطية موضحة في الشكل رقم (٦, ٤). وفي مثل هذه الحالات يمكن أن يظهر التمثيل البياني للمقدار N مقابل y على هيئة خط متكسر أو منحنى واضح. وللأجزاء المستقيمة تقريباً من الخط المتكسر- أو المنحني، فإن الأس الهيدرووليكي يمكن افتراض أنها ثابتة.

(٣) هناك معادلات مماثلة لتلك الموضحة في الشكل رقم (٦, ٢) للقنوات المائية شبه المنحرفة تم إنشاؤها من خلال أعمال كيربيش

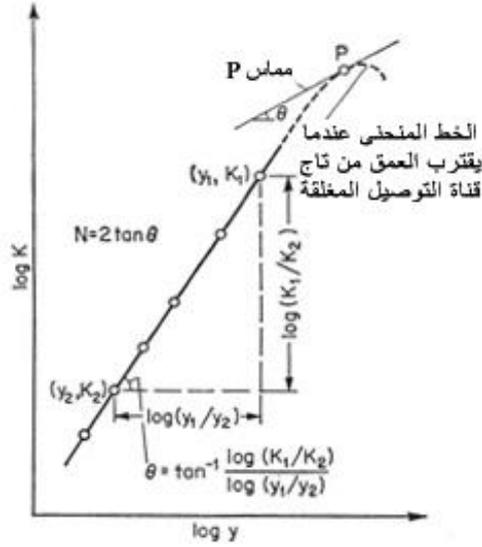
Kirpich [3] وقام أيضاً بافلوفسكي [4] Pavlovskii وراخمانوف [5] Rakhmanoff بإعدادها بشكل مستقل.

وعندما يقترب عمق التدفق من التاج الذي ينغلق تدريجياً من قناة التوصيل المغلقة، فإن التمثيل اللوغاريتمي سيعطي الشكل المنحني. ويعد الأس الهيدروليكي في مدى التمثيل المنحني مساوياً لضعف ميل مماس المنحنى عند عمق ما (الشكل رقم (٦,٣)). وللأغراض العملية، يمكن تقسيم المنحنى إلى عدد من الأجزاء الصغيرة، ويمكن اعتبار كل جزء خطأ مستقيماً له ميل ثابت أو أس هيدروليكي ثابت.

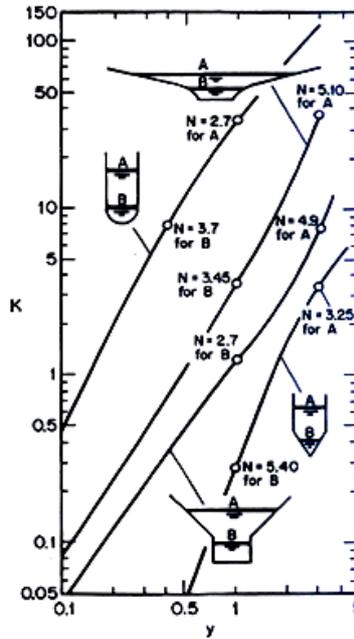
والآن نتخذ المقطع الدائري كأحد الأمثلة. فالتمثيل البياني اللوغاريتمي اللابعدي للمقدار $AR^{2/3}$ مقابل العمق موضح في الشكل رقم (٦,١). وبفرض وجود قيمة ثابتة للمقدار n ، فإن هذا المنحنى سيوضح نفس الخصائص كما لو كان العمق تمثيله مقابل المقدار K . ومع زيادة العمق، فإن المنحنى ينحرف تدريجياً من خط مستقيم إلى أن يصل في النهاية إلى شكل منحنى بشدة عند $y/d_0 = 0.938$ ، حيث إن قيمة $AR^{2/3}/d_0^{8/3}$ عند أكبر قيمة لها. وحيث إن قيمة n من المفترض أن لها قيمة ثابتة، فإن هذه النسبة $y/d_0 = 0.938$ تناظر أيضاً أكبر قيمة للنتقل K . وميل مماس المنحنى عند هذا العمق، وفقاً للتمثيل البياني الذي يتم التبادل بين المحور الصادي والمحور السيني، يكون أفقياً، وبالتالي فإن الأس الهيدروليكي N يساوي الصفر. وللأعماق التي لها نسبة أكبر من $y/d_0 = 0.938$ ، فإن المنحنى يوضح انخفاضاً في قيمة $AR^{2/3}/d_0^{8/3}$ ، ومن ثم، سيكون هناك انخفاض في K إذا كان من المفترض أن المقدار n له قيمة ثابتة. وميل مماس المنحنى ومعه الأس الهيدروليكي سيصبح بالتالي له قيمة سالبة.



الشكل رقم (٦,٢). منحنيات قيم N .



الشكل رقم (٦,٣). التحديد البياني للأس N عن طريق التمثيل اللوغاريتمي.



الشكل رقم (٦,٤). مقاطع القنوات المائية النمطية التي بها تغيرات كبيرة في قيمة N نسبة إلى العمق. (مأخوذ من ر. ر. تشوجيف [2] R. R. Chugaev).

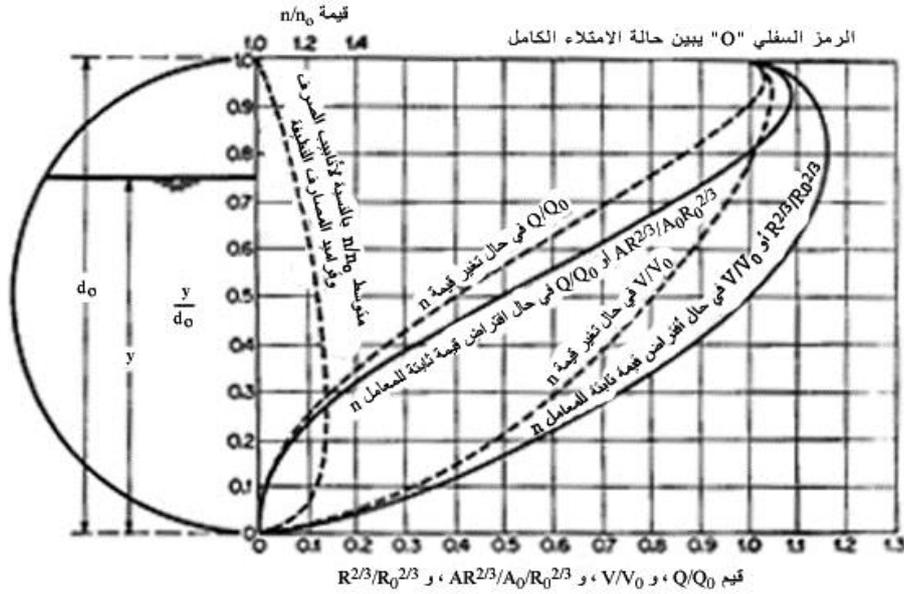
(٦,٤) خصائص التدفق في قناة مغلقة لها تدفق القنوات المائية المكشوفة

بأخذ المقطع الدائري كأحد الأمثلة، فإن المنحنيات الالابعدية للنسبتين $AR^{2/3}/A_0R_0^{2/3}$ و $R^{2/3}/R_0^{2/3}$

موضحة بالخطوط الكاملة في الشكل رقم (٦,٥). والرمز السفلي صفر يبين حالة التدفق الكامل. وإذا افترض أن

قيمة n ثابتة أو أنها مستقلة عن تغير العمق، فإن هذين المنحنيين سيمثلان تغير نسب التصرف والسرعة إلى قيم التدفق الكامل المناظرة (أي، Q/Q_0 و V/V_0). وكل من منحنىي التصرف والسرعة يوضحان أكبر قيم، والتي توجد عند حوالي $0.938d_0$ و $0.81d_0$ على التوالي. ومن الناحية الرياضية، فإن عمق أكبر تصرف، أو $0.938d_0$ ، يمكن الحصول عليها ببساطة عن طريق مساواة الاشتقاق الأول للمقدار $AR^{2/3}$ نسبة إلى y بالصفر، حيث إن التصرف الذي يتم حسابه من معادلة ماننق يتناسب مع $AR^{2/3}$ في حالة n و S . وبالمثل، وحيث إن السرعة التي يتم حسابها من معادلة ماننق تتناسب مع $R^{2/3}$ ، فإن العمق عند أكبر سرعة، أو $0.81d_0$ ، يمكن الحصول عليه عن طريق مساواة الاشتقاق الأول للمقدار $R^{2/3}$ بالصفر. وعلاوة على هذا، فإن المنحنى اللابعدى للنسبة Q/Q_0 يوضح أنه عندما يكون العمق أكبر من حوالي $0.82d_0$ ، فيمكن أن يكون هناك عمقان مختلفان لنفس التصرف، واحد أعلى القيمة وواحد أسفلها $0.938d_0$. وبالمثل، فإن المنحنى V/V_0 يوضح أنه عندما يكون العمق أكبر من نصف العمق، فيمكن أن يكون هناك عمقان مختلفان لنفس السرعة، واحد أعلى القيمة $0.81d_0$ وواحد أسفلها. وتعتمد المناقشة المذكورة أعلاه على افتراض أن معامل الخشونة يبقى ثابتاً مع تغير العمق. وفي الحقيقة، فإن قيمة n لأنابيب المصارف متوسطة النظافة وقراميد الصرف، التي يتم تصنيعها من كل من الطين والخرسانة، على سبيل المثال، قد أوضحت أنها تزداد بنسبة تصل إلى ٢٨٪ من $1.00d_0$ إلى $0.25d_0$ ، حيث يظهر أن هذا هو أكبر قيمة (انظر الشكل رقم (٥، ٦) والمناقشة المذكورة في الجزء رقم (٥، ٨) التي تتعلق بالمرحلة كمعامل مؤثر على قيمة n). ويتسبب هذا التأثير في حدوث أكبر تصرف فعلي وأكبر سرعة فعلية عند عمقي حوالي $0.97d_0$ و $0.94d_0$ ، على التوالي. ومنحنىي Q/Q_0 و V/V_0 المناظرين يتم تمثيلهما بالخطين المتقطعين من الشكل رقم (٦، ٥). ووفقاً لافتراض وجود قيمة ثابتة للمقدار n ، فإن السرعة ستكون بنفس قيمتها للأنبوب الممتلئ للنصف، في حين أنه إذا كانت قيمة n مأخوذة على أنها تتغير مع العمق، كما هو موضح، فإن السرعة عند نصف العمق تكون فقط بقيمة ٠,٨ من السرعة الكاملة.

إن مناقشة القنوات الدائرية تنطبق أيضاً على أي قناة مغلقة لها قمة تنغلق تدريجياً. والأعماق الدقيقة لأكبر تصرف وسرعة، على أي حال، ستعتمد على تغير الشكل والخشونة لمقطع ما من القناة. وحيث إن أكبر تصرف وسرعة في القناة المغلقة التي لها قمة تنغلق تدريجياً لا يقعان عند العمق الكامل، فإن هذا يعني أن القناة لن تتدفق تدفقاً كاملاً عند أكبر سعة مادامت تحافظ على تدفق القناة المكشوفة بتدرج منتظم خالٍ من العوائق. وللأغراض العملية، يمكن في بعض الأحيان افتراض أن أكبر تصرف للقناة الدائرية أو القناة المغلقة المشابهة التي لها قمة تنغلق تدريجياً يوجد بالفعل عند العمق الكامل، بسبب أن عمق أكبر تصرف يعد قريباً جداً من القمة لدرجة أن هناك على الدوام احتمال ظهور مياه عكسية طفيفة تعمل على زيادة هذا العمق بحيث يقترب أكثر ويصل في النهاية إلى العمق الكامل.



الشكل رقم (٦،٥). خصائص التدفق في المقطع الدائري. (مأخوذ من ت. ر. كامب [27] T. R. Camp، الفصل الخامس).

(٦،٥) التدفق في مقطع قناة مركب الخشونة

في القنوات المائية البسيطة، يمكن أن تكون الخشونة على امتداد المحيط المبلل مختلفة على نحو مميز من جزء لآخر من هذا المحيط، ولكن يمكن الاستمرار في حساب السرعة باستخدام معادلة التدفق المنتظم بدون القيام بشكل فعلي بتقسيم هذا المقطع. فعلى سبيل المثال، قناة مائية مستطيلة الشكل تم بناؤها بقاع خشبي وجدران زجاجية فإنها ولا بد سيكون لها قيم معامل n للقاع تختلف عن مثيلتها للجدران. وتطبيق معادلة ماننق على مثل هذه القناة، فمن الضروري في بعض الأحيان القيام بحساب قيمة مكافئة للمعامل n تمثل المحيط المبلل بأكمله واستخدام هذه القيمة المكافئة لحساب التدفق في المقطع بأكمله.

ولحساب الخشونة المكافئة، تقسم المساحة المائية تخطيطياً إلى عدد N من الأجزاء لها محيطات مبللة P_1 ، و P_2 ، و P_N ، و معاملات خشونة n_1 ، و n_2 ، و n_N ، و معلومة. وقد افترض هورتون [6] Horton وأينشتاين [7, 8] Einstein أن كل جزء من المساحة له نفس السرعة المتوسطة، والتي في نفس الوقت تساوي متوسط سرعة المقطع بأكمله، بمعنى، $V_1 = V_2 = \dots = V_N = V$. وعلى أساس هذا الافتراض، يمكن الحصول على المعامل المكافئ للخشونة عن طريق المعادلة التالية:

$$(٦،١٧) \quad n = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} = \frac{(P_1 n_1^{1.5} + P_2 n_2^{1.5} + \dots + P_N n_N^{1.5})^{2/3}}{P^{2/3}}$$

وهناك الكثير من الافتراضات الأخرى المتبعة لحساب الخشونة المكافئة. وقد افترض بافلوفسكي [9] Pavlovskii وكذلك موهوفر [10] Miihlhofer وأينشتاين وبنكس [11] Einstein and Banks أن القوة الكلية التي تقاوم التدفق (أي، KV^2PL)، انظر الجزء رقم (٤، ٥)) تساوي مجموع القوة المقاومة للتدفق التي تنتج في المساحات المقسمة. ومن خلال هذا الافتراض، يكون معامل الخشونة المكافئ هو:

$$(٦, ١٨) \quad n = \left[\frac{\sum_1^N (P_N n_N^2)}{P} \right]^{1/2} = \frac{(P_1 n_1^2 + P_2 n_2^2 + \dots + P_N n_N^2)^{1/2}}{P^{1/2}}$$

وافترض لوتر [12] Lotter أن التصرف الكلي للتدفق يساوي مجموع التصرفات الناتجة من المساحات المقسمة، وبالتالي يكون معامل الخشونة المكافئ هو:

$$(٦, ١٩) \quad n = \frac{PR^{5/3}}{\sum_1^N \left(\frac{P_N R_N^{5/3}}{n_N} \right)} = \frac{PR^{5/3}}{\frac{P_1 R_1^{5/3}}{n_1} + \frac{P_2 R_2^{5/3}}{n_2} + \dots + \frac{P_3 R_3^{5/3}}{n_3}}$$

حيث إن R_1 ، و R_2 ، و R_3 ، و R_N أنصاف الأقطار الهيدروليكية للمساحات المقسمة. ويمكن لمقطع القناة المائية البسيط، افتراض أن:

$$R_1 = R_2 = \dots = R_N = R$$

معامل خشونة القنوات المائية المغطاة بالجليد. عندما تغطي القناة المائية بالجليد، فإن المحيط المبلل للتدفق يزداد إلى حد بعيد. ويمكن أن يكون سطح قاع الغطاء الجليدي أملس بنفس درجة السطح المغطى بالخرسانة أو خشناً كقاع القناة الطبيعية عندما تخرج منها كتل الجليد المنجرفة. ويوضح الجدول رقم (٦، ١) قيم n الخاصة بالقنوات المائية المتدرجة المغطاة بالجليد، كما اقترحتها لوتر [13] Lotter.

الجدول رقم (٦، ١). قيم n للقنوات المائية المتدرجة المغطاة بالجليد.

حالة الجليد	سرعة التدفق، قدم/ث	قيمة n
جليد أملس:		
بدون كتل جليدية منجرفة	٢,٠-١,٣	٠,٠١٢-٠,٠١٠
	٢,٠<	٠,٠١٧-٠,٠١٤
في وجود كتل جليدية منجرفة	٢,٠-١,٣	٠,٠١٨-٠,٠١٦
	٢,٠<	٠,٠٢٠-٠,٠١٧
جليد خشن بكتل جليدية منجرفة	.....	٠,٠٢٥-٠,٠٢٣

وبفرض أن n و n_1 هما معاملا خشونة القناة المائية في عدم وجود الغطاء الجليدي وبوجوده، على التوالي. وباستخدام المعادلة رقم (٦، ١٧) إلى المعادلة رقم (٦، ١٩) يمكن حساب معامل الخشونة n_2 الخاص بالغطاء الجليدي. ولكن، المعامل الذي يتم حسابه حيثئذ يمكن في بعض الأحيان أن يكون له قيمة سالبة، والتي تمثل، بالطبع، حالة غير واقعية.

ولتطوير منهج واقعي لحل المسألة، افترض بافلوفسكي [14] Pavlovskii أن القوة الكلية التي تقاوم التدفق تساوي مجموع القوى المقاومة التي تنتج من قاع القناة والغطاء الجليدي. وبالتالي، من الجزء رقم (٥، ٤):

$$(٦، ٢٠) \quad KV^2LP = K_1V^2LP_1 + K_2V^2LP_2$$

حيث إن الرمز السفلي 1 يشير إلى قاع القناة المائية والرمز السفلي 2 يشير إلى الغطاء الجليدي، وحيث إن معامل تشيزي $C = \sqrt{w/K}$ أو أن $K = w/C^2$ ، فإن المعادلة المذكورة أعلاه تصبح:

$$(٦، ٢١) \quad \frac{P}{C^2} = \frac{P_1}{C_1^2} + \frac{P_2}{C_2^2}$$

وبفرض أن المحيط المبلل $P_2 = aP_1$ أو أن $P = P_1 + P_2 = (1+a)P_1$ ، إذن:

$$(٦، ٢٢) \quad \frac{1+a}{C^2} = \frac{1}{C_1^2} + \frac{a}{C_2^2}$$

وحيث إنه، من المعادلة رقم (٥، ٧)، $C = 1.49R^{1/6}/n$ ،

$$(٦، ٢٣) \quad \frac{(1+a)n^2}{R^{1/3}} = \frac{n_1^2}{R_1^{1/3}} + \frac{an_2^2}{R_2^{1/3}}$$

وبافتراض آخر بأن نصف القطر الهيدروليكي الكلي R يتكون من جزأين هما: نصف القطر الهيدروليكي R_1 الناتج عن قاع القناة ونصف القطر الهيدروليكي R_2 الناتج عن الغطاء الجليدي، وهذا يعني أن، $R = R_1 + R_2$. والآن، نفترض أن $\varepsilon_1 = R_1/R_2$ ، و $\varepsilon_2 = n_1/n_2$. ويمكن اختزال المعادلة رقم (٦، ٢٣) إلى:

$$(٦، ٢٤) \quad (1+a)n^2 = n_2^2 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_1}\right)^{1/3} (\varepsilon_2^2 + a\varepsilon_1^{1/3})$$

ولحالة أكبر تصرف، وضع بافلوفسكي Pavlovskii افتراضاً ينص على أن العلاقة بين R_1 ، و R_2 ، و n هي بالشكل التالي: $dn/d\varepsilon_1 = 0$ ، ومن ثم، فمن المعادلة رقم (٦، ٢٤)، و $\varepsilon_2^2 = a\varepsilon_1^{4/3}$ ،

$$*(٦، ٢٥) \quad n = \frac{n_2}{\sqrt{1+a}} (a^{3/4} + \varepsilon_2^{3/2})^{2/3}$$

* استخدم بافلوفسكي [14] Pavlovskii العلاقة: $C = R^{1/4}/n$ بدلاً من المعادلة رقم (٥، ٧)، مما أدى إلى الحصول على:

$$(٦، ٢٦) \quad n = \frac{n_2}{\sqrt{1+a}} (a^{2/3} + \varepsilon_2^{4/3})^{3/4}$$

وكان بيلوكون [15] Belokon هو الذي استخدم المعادلة رقم (٥، ٧).

وللقنوات المائية العريضة، يمكن افتراض أن $P_1 = P_2$ ، أي أن $a = 1$. وبالتالي، $\varepsilon_2^2 = \varepsilon_1^{4/3}$ ، و:

$$n = \frac{n_2}{\sqrt{2}} \left(1 + \varepsilon_2^{3/2}\right)^{2/3} \quad (٦, ٢٧)$$

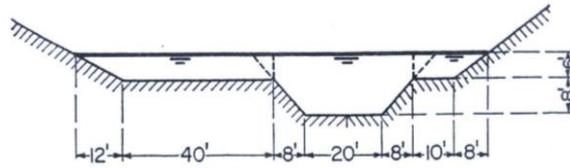
وعليه، فإن معامل الخشونة للغطاء الجليدي هو:

$$n_2 = \left(1.68n^{3/2} + n_1^{3/2}\right)^{2/3} \quad (٦, ٢٨)$$

والآن بافتراض أن التصرف في وجود الغطاء الجليدي وفي عدم وجوده هو Q و Q_1 ، على التوالي. إذن، باستخدام معادلة ماننق وافتراض أن $R = R_1/2$ ، حيث إن R و R_1 هما نصفا الأقطار الهيدروليكية في وجود الغطاء الجليدي وفي عدم وجوده، على التوالي، وبهذا يكون التصرف في القناة المائية في وجود الغطاء الجليدي:

$$Q = 0.63 \frac{n_1}{n} Q_1 \quad (٦, ٢٩)$$

القنوات المائية ذات المقطع المركب. يمكن أن يتكون المقطع العرضي للقناة المائية من العديد من المقاطع الفرعية المميزة عن بعضها مع كون كل مقطع فرعي مختلفاً في الخشونة عن المقطع الفرعي الآخر. فعلى سبيل المثال، هناك قناة مائية طميية عرضة لحدوث الفيضانات الموسمية والتي تتكون بوجه عام من القناة المائية الرئيسية واثنين من القنوات المائية الجانبية (الشكل رقم (٦, ٦)). وقد وُجد أن القناتين المائيتين الجانبيتين أكثر خشونة من القناة المائية الرئيسية، وبهذا يكون متوسط السرعة في القناة المائية الرئيسية أكبر من متوسط السرعات في القناتين المائيتين الجانبيتين. وفي مثل هذه الحالة، يمكن تطبيق معادلة ماننق بشكل منفصل على كل مقطع فرعي عند حساب متوسط السرعة في المقطع الفرعي، وبالتالي، يمكن حساب التصرفات في المقاطع الفرعية، وتبعاً لهذا فإن إجمالي التصرف يساوي مجموع هذه التصرفات، ومتوسط السرعة في مقطع القناة المائية بأكمله يساوي إجمالي التصرف مقسوماً على إجمالي مساحة المياه.



الشكل رقم (٦, ٦). قناة مائية تتكون من مقطع رئيس واحد واثنين من المقاطع الجانبية.

ونتيجة للاختلافات التي توجد بين سرعات المقاطع العرضية، فإن معاملات توزيع السرعة للمقطع بأكمله تختلف عن تلك المعاملات الخاصة بالمقاطع الفرعية، ويمكن حساب قيم هذه المعاملات كما يلي:

بفرض أن v_1 ، v_2 ، ...، v_N هي السرعات المتوسطة الخاصة بالمقاطع الفرعية، وبفرض أن α_1 ، α_2 ، ...، α_N هي معاملات توزيع السرعات للمقاطع الفرعية المناظرة، وبفرض أن ΔA_1 ، ΔA_2 ، ...، ΔA_N هي

و $\Delta A_2, \dots, \Delta A_N$ هي مساحات المياه للمقاطع الفرعية المناظرة، وبفرض أن K_1, K_2, \dots, K_N هي قيم نقل المقاطع الفرعية المناظرة، وبفرض أن V هي متوسط السرعة في المقطع بأكمله، وبفرض أن A مساحة المياه الكلية، ومن معادلة الاستمرارية والمعادلة رقم (٦,٣)، يمكن كتابة ما يلي:

$$v_1 = \frac{K_1}{\Delta A_1} S^{1/2} \quad v_2 = \frac{K_2}{\Delta A_2} S^{1/2} \quad \dots \quad v_N = \frac{K_N}{\Delta A_N} S^{1/2}$$

$$Q = V A = v_1 \Delta A_1 + v_2 \Delta A_2 + \dots + v_N \Delta A_N$$

$$= (K_1 + K_2 + \dots + K_N) S^{1/2} = \left(\sum_1^N K_N \right) S^{1/2}$$

$$V = \frac{\left(\sum_1^N K_N \right)}{A}$$

و بدمج المعادلة المذكورة أعلاه مع المعادلة رقم (٢,٤) والمعادلة رقم (٢,٥) والتبسيط، نجد أن معاملات توزيع السرعة للمقطع بأكمله هي:

$$\alpha = \frac{\sum_1^N (\alpha_N K_N^3 / \Delta A_N^2)}{\left(\sum_1^N K_N \right)^3 / A^2} \quad (٦,٣٠)$$

و

$$\beta = \frac{\sum_1^N (\beta_N K_N^2 / \Delta A_N)}{\left(\sum_1^N K_N \right)^2 / A} \quad (٦,٣١)$$

المثال رقم (٦,١). احسب معاملات توزيع السرعة عند أكبر تدفق في قناة مائية طبيعية تتكون من مقطع رئيس ومقطع جانبي زائد التدفق، والبيانات التي يتم الحصول عليها عند مرحلة أكبر تدفق هي:

اسم المقطع	A، قدم	P، قدم	قيمة n	α	β
المقطع الرئيس ...	٥٣٦٠	٢٢٥	٠,٠٣٥	١,١٠	١,٠٤
المقطع الجانبي ...	٥٧١٠	٤٠٥	٠,٠٤٠	١,١١	١,٠٤

الحل: الحسابات معطاة أدناه.

اسم المقطع	ΔA	P	R	$R^{2/3}$	n	K	$\beta K^2 / \Delta A$	$\alpha K^3 / \Delta A^2$
المقطع الرئيس	٥٣٦٠	٢٢٥	٢٣,٨	٨,٢٩	٠,٠٣٥	١٠٠ × ١,٨٩٢	١٠٠ × ٦,٩٤	١٠٠ × ٢٥,٩٣
المقطع الجانبي	٥٧١٠	٤٠٥	١٤,١	٥,٨٥	٠,٠٤٠	١٠٠ × ١,٢٤٤	١٠٠ × ٢,٨٢	١٠٠ × ٦,٥٦
الإجمالي	١١٠٧٠	.....	.....	.....	.....	١٠٠ × ٣,١٣٦	١٠٠ × ٩,٧٦	١٠٠ × ٣٢,٤٩

ومن المعادلة رقم (٦,٣٠) والمعادلة رقم (٦,٣١)، تكون المعاملات:

$$\alpha = \frac{32.49 \times 10^{10}}{(3.136 \times 10^6)^3 / 11,070^2} = 1.29$$

و

$$\beta = \frac{9.76 \times 10^8}{(3.136 \times 10^6)^2 / 11,070} = 1.10$$

(٦, ٦) حساب العمق العادي والسرعة العادية

يمكن حساب العمق العادي والسرعة العادية عن طريق معادلة التدفق المنتظم. وفي الحسابات التالية، تستخدم معادلة ماننق بثلاث طرق مختلفة للحل.؛

أ. الطريقة الجبرية. لمقاطع القنوات المائية البسيطة هندسياً، يمكن تحديد حالة التدفق المنتظم بالحل الجبري، كما هو موضح من خلال المثال التالي:

المثال رقم (٦, ٢): قناة مائية لها شكل شبه منحرف (الشكل رقم (٢, ٢))، مع $b = 20$ ft، و $z = 2$ ، و $S_0 = 0.0016$ ، و $n = 0.025$ ، تحمل تصرفاً قدره 400 قدم^٣/ث. احسب العمق العادي والسرعة العادية.
الحل ١: الأسلوب التحليلي. يعبر عن نصف القطر الهيدروليكي والمساحة المائية للمقطع المعطى بدلالة العمق y كما يلي:

$$A = y(20 + 2y) \quad \text{و} \quad R = \frac{y(10 + y)}{10 + y\sqrt{5}}$$

والسرعة:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{400}{y(20 + 2y)}$$

وبالتعويض عن الكميات المعطاة والمعادلات المذكورة أعلاه في معادلة ماننق والتبسيط:

$$\frac{200}{y(10 + y)} = \frac{1.49}{0.025} \left[\frac{y(10 + y)}{10 + y\sqrt{5}} \right]^{2/3} 0.0016^{1/2}$$

أو

$$7,680 + 1,720y = [y(10 + y)]^{2.5}$$

(٤) إلى جانب الطرق المذكورة هنا، هناك طرق أخرى لحساب التدفق المنتظم، مثل استخدام الجداول الهيدروليكية. والجداول التي يشاع استخدامها لهذا الغرض يمكن العثور عليها في [16] إلى [20].

وبحل هذه المعادلة للحصول على y عن طريق المحاولة والخطأ، نجد أن $y_n = 3.36 \text{ ft}$. وهذا هو العمق العادي. والمساحة المناظرة هي $A_n = 89.8 \text{ ft}^2$ ، والسرعة العادية هي $V_n = 400/89.8 = 4.46 \text{ fps}$. ومن المثال رقم (٤,٢)، من المعروف أن العمق الحرج لنفس التصرف في القناة المائية يبلغ ١٥, ٢ قدم. وحيث إن العمق العادي يزيد عن العمق الحرج، فإن التدفق يكون تحت حرج.

الحل ٢: أسلوب المحاولة والخطأ. يفضل بعض المهندسين حل هذا النوع من المسائل عن طريق المحاولة والخطأ. وباستخدام المعلومات المذكورة أعلاه، فإن الطرف الأيمن من المعادلة رقم (٦,٨) يصبح $nQ/1.49\sqrt{S} = 167.7$. ثم، تفرض قيمة y ويحسب معامل المقطع $AR^{2/3}$. وبالقيام بالعديد من المحاولات حتى التوصل إلى أن تصبح قيمة $AR^{2/3}$ قريبة جداً من ١٦٧,٧، ثم بافتراض أن قيمة y الناتجة من أكثر المحاولات قريباً هي العمق العادي. والحساب باستخدام المحاولة والخطأ موضح كما يلي:

ملاحظات	$R^{2/3}A$	$R^{2/3}$	R	A	y
y صغيرة للغاية	١٣٧,٤	١,٧٦٢	٢,٣٤	٧٨,٠	٣,٠٠
y كبيرة للغاية	١٨١,٠	١,٩١٥	٢,٦٥	٩٤,٥	٣,٥٠
	١٦٢,٦	١,٨٥٢	٢,٥٣	٨٧,٧	٣,٣٠
	١٦٧,٢	١,٨٧٠	٣,٥٦	٨٩,٥	٣,٣٥
الأقرب	١٦٨,٠	١,٨٧٠	٢,٥٦	٨٩,٨	٣,٣٦

وبالتالي، العمق العادي هو: $y_n = 3.36 \text{ ft}$.

ب. الطريقة البيانية. للقنوات المائية التي لها مقطع عرضي معقد وظروف تدفق متغيرة، وُجد أن الحل البياني للمسألة هو الأنسب. وعن طريق هذا الحل، يتم أولاً إنشاء منحنى لقيم y مقابل معامل المقطع $AR^{2/3}$ من ثم حساب قيمة $nQ/1.49\sqrt{S}$. ووفقاً للمعادلة رقم (٦,٨)، من الواضح أن العمق العادي يمكن إيجاد من المنحنى $y - AR^{2/3}$ حيث إن إحداثي $AR^{2/3}$ يساوي القيمة المحسوبة للمقدار $nQ/1.49\sqrt{S}$. وعندما يتغير التصرف، يتم حساب قيم جديدة للمقدار $nQ/1.49\sqrt{S}$ ، ويمكن إيجاد قيم العمق العادي المناظرة الجديدة من نفس المنحنى.

المثال رقم (٦,٣). احسب العمق العادي لتدفق قدره ٣٦ بوصة يمر في قناة تحت أرضية (المثال رقم (٤,٣)) لها ميل يساوي ٠,٠٠١٦، ومعامل ماننق هو ٠,٠١٥، وتحمل تصرفاً قدره ٢٠ قدم^٢/ث.

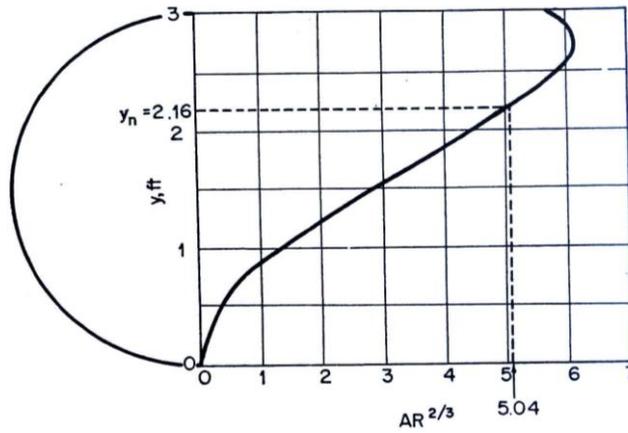
الحل: من خلال إنشاء منحنى لقيم y مقابل $AR^{2/3}$ لقناة تحت أرضية (الشكل رقم (٦,٧)). وبحساب ما

يلي:

$$nQ/1.49\sqrt{S} = 0.015 \times 20/1.49\sqrt{0.0016} = 5.04$$

ومن المنحنى $y - AR^{2/3}$ ، أو وجد العمق المناظر للقيمة $٥,٠٤$ للمقدار $AR^{2/3}$ ، وهذا العمق هو العمق العادي المطلوب، أو أن $y_n = 2.016$ ft. وحيث إن هذا العمق أكبر من العمق الحرج الذي تم حسابه في المثال رقم (٤,٣) في ظل نفس الظروف، فإن التدفق يكون تحت حرج.

ويمكن أيضاً استخدام الجدول المذكور في الملحق "أ" والخاص بالعناصر الهندسية للمقطع الدائري لحل هذه المسألة. وحيث إن $d_0 = 3.0$ ft، $d_0^{8/3} = 18.75$ ، فإن $AR^{2/3}/d_0^{8/3} = 5.04/18.75 = 0.269$ ، ومن الجدول، نجد أن $y/d_0 = 0.72$ ، أو أن $y = 0.72 \times 3 = 2.16$ ft.



الشكل رقم (٦,٧). منحنى y مقابل $AR^{2/3}$ للمقطع الدائري.

ج. طريقة مخطط التصميم. يمكن استخدام مخطط التصميم لحساب العمق العادي (الشكل رقم (٦,١)) بكثير من الملاءمة.

في المثال رقم (٦,٢)، نجد أن $AR^{2/3} = 167.7$ ، وقيمة $AR^{2/3}/b^{8/3}$ هي $٠,٠٥٦٩$. ولهذا القيمة، فإن المخطط يعطي $y/b = 0.168$ ، أو $y_n = 3.36$ ft.

(٦,٧) حساب الميل العادي والميل الحرج

يمكن بمعرفة كل من التصرف والخشونة، استخدام معادلة ماننق لحساب ميل القناة المائية المنشورية والتي يكون التدفق فيها منتظماً عند عمق عادي y_n معطى، ويُطلق على الميل المحسوب في بعض الأحيان تحديداً *الميل العادي* S_n .

وعن طريق تغيير ميل القناة المائية لقيمة معينة، يمكن تغيير العمق العادي وجعل التدفق المنتظم يحدث في الحالة الحرجة لتصرف وخشونة ما، والميل المتحصل عليه هو *الميل الحرج* S_c ، والعمق العادي المناظر يساوي العمق الحرج. وأصغر ميل حرج لقناة مائية لشكل وخشونة ما يُطلق عليه *ميل الحد* S_L .

وعلاوة على هذا، فعن طريق تعديل الميل والتصرف، فإن التدفق المنتظم الحرج يمكن حدوثه عند عمق عادي ما، والميل المتحصل عليه عندئذ يُطلق عليه الميل الحرج عند عمق عادي معطى S_{cn} . والأمثلة التالية ستوضح المناقشة المذكورة أعلاه.

المثال رقم (٤، ٦). قناة مائية على شكل شبه منحرف لها عرض قاع قدره ٢٠ قدماً، وميل جانبي قدره ٢:١، ومعامل ماننق n يساوي ٠,٠٢٥.

أ. احسب الميل العادي عند عمق عادي يبلغ ٣,٣٦ قدم عندما يكون التصرف يساوي ٤٠٠ قدم^٣/ث.

ب. احسب الميل الحرج والعمق العادي المناظر عند تصرف ٤٠٠ قدم^٣/ث.

ج. احسب الميل الحرج عند العمق العادي الذي يبلغ ٣,٣٦ قدم، واحسب التصرف المناظر.

الحل: أ. من المعطيات نجد أن $R = 2.56 \text{ ft}$ و $V = 4.46 \text{ ft/s}$ ، وبالتعويض بهذه القيم في معادلة ماننق

والحل للحصول على S_n :

$$4.46 = \frac{1.49}{0.025} 2.56^{2/3} S_n^{1/2}$$

$$S_n = 0.0016 \quad \text{أو}$$

وهذا هو الميل الذي سيحافظ على التدفق المنتظم في قناة مائية معينة عند عمق قدره ٣,٣٦ قدم وتصرف ٤٠٠ قدم^٣/ث (انظر المثال رقم (٦، ٢)).

ب. من المعطيات يمكن إيجاد أن العمق الحرج وهو ٢,١٥ قدم (انظر المثال رقم (٤، ٢)). والقيمة المناظرة

لكل من R و V هي $R = 1.97 \text{ ft}$ و $V = 7.66 \text{ ft/s}$. وبالتعويض عن القيم المعلومة في معادلة ماننق والحل

للحصول على S_c :

$$7.66 = \frac{1.49}{0.025} 1.97^{2/3} S_c^{1/2}$$

$$S_c = 0.0067 \quad \text{أو}$$

وهذا هو الميل الذي سيحافظ على التدفق المنتظم والتدفق الحرج في قناة مائية معينة في ظل تصرف قدره ٤٠٠ قدم^٣/ث، وعمق التدفق يساوي ٢,١٥ قدم.

ج. ولعمق عادي قدره ٣,٣٦ قدم، نجد أن $R = 2.56 \text{ ft}$ ، و $A = 89.8 \text{ ft}^2$ ، و $D = 2.68 \text{ ft}$ ، ومن المعادلة

رقم (١١، ١) نجد أن السرعة الحرجة هي $V_c = \sqrt{2.68g} = 9.3 \text{ ft/s}$. وبالتعويض بالقيم المعلومة في معادلة

ماننق والحل للحصول على S_{cn} :

$$9.3 = \frac{1.49}{0.025} 2.56^{2/3} S_{cn}^{1/2}$$

$$S_{cn} = 0.0070$$

أو

وهذا هو الميل الذي سيحافظ على التدفق المنتظم والتدفق الحرج في قناة مائية معينة عند عمق عادي يساوي ٣,٣٦ قدم، والتصرف المناظر يساوي ٩,٣ × ٨٩,٨ = ٨٣٥ قدم^٣/ث.

المثال رقم (٦,٥). احسب ميل الحد S_L لقناة مائية مستطيلة الشكل (الشكل رقم (٦,٨)) مع $b = 10 \text{ ft}$

و $n = 0.015$.

الحل: حيث إن ميل الحد هو أصغر ميل حرج، فيمكن حساب قيمته بيانياً من منحني التدفق الحرج الذي يتم تمثيله مقابل التصرف.

ولحساب الميل الحرج، فإن الحالتين التاليتين يجب تحقيقهما:

١. الحالة الأولى، من المعادلة رقم (٦,٣):

$$(٦,٣٢) \quad Q = K \sqrt{S_c}$$

أو، عندما تستخدم معادلة ماننق:

$$(٦,٣٣) \quad Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} \sqrt{S_c}$$

أو، للقناة المائية مستطيلة الشكل:

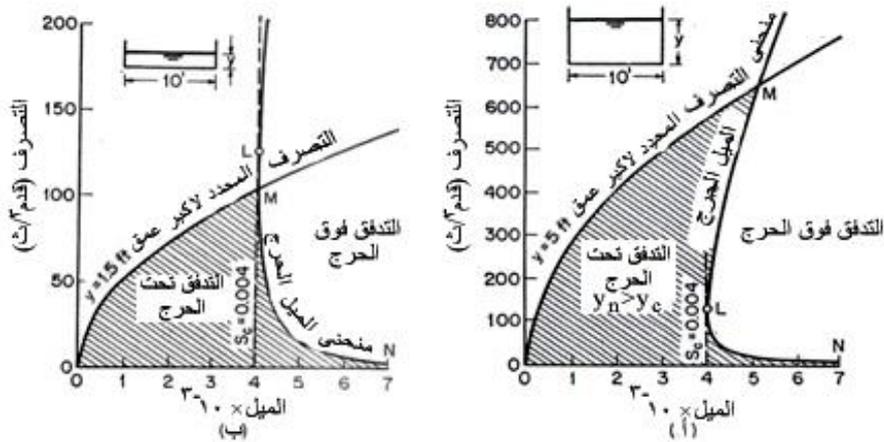
$$(٦,٣٤) \quad Q = \frac{1.49}{n} 10 y \left(\frac{10y}{10 + 2y} \right)^{2/3} \sqrt{S_c}$$

٢. الحالة الثانية، من المعادلة رقم (٤,٣):

$$(٦,٣٥) \quad Q = Z_c \sqrt{g}$$

أو، للقناة المائية مستطيلة الشكل:

$$(٦,٣٦) \quad Q = 10 \sqrt{g} y^{1.5}$$



وعن طريق استخدام المعادلة رقم (٦,٣٤) والمعادلة رقم (٣,٣٦) وإهمال y ، فإن العلاقة بين Q و S_c يمكن الحصول عليها. وهذه العلاقة يتم التعبير عنها كدالة عملية، مع العلم أن الحل الرياضي المباشر لها معقد. والحل العملي لهذه المسألة هو افتراض قيم مختلفة للمقدار y ، وبالتعويض عن y في المعادلة رقم (٦,٣٦) والحل للحصول على Q ، ثم بالتعويض عن y و Q في المعادلة رقم (٦,٣٤) والحل للحصول على S_c . وتتبع هذه الخطوات، فقد تم حساب العلاقة بين Q و S_c والتمثيل كما هو موضح في الشكل رقم (٦,٨)، والمنحنى الذي تم تمثيله MLN يوضح أقل قيمة للمقدار $S_c = 0.004$ عند L ، وهو ميل الحد المطلوب.

وبفرض أن أكبر عمق متوقع للتدفق في القناة هو ٥ قدم، فيمكن إعداد منحنى التصرف OM (الشكل رقم (٦,٨)) وفقاً للمعادلة رقم (٦,٩). ويصبح من الواضح أنه، في المساحة المظللة التي تقع بين المنحنيين OM و MLN، فإن كل التدفقات المتوقعة ستكون تحت حرجة، وعلى الجانب الأيمن من المنحنيين، ستكون التدفقات فوق حرجة. وحيث إن النقطة L تقع أسفل المنحنى OM، فإن ميل الحد يكون ممكناً في النطاق المتوقع للتدفق. وبالمثل، فإن أكبر عمق متوقع للتدفق من المفترض أن يكون $١,٥$ قدم، والمنحنيات موضحة في الشكل رقم (٦,٨ ب). وفي هذه الحالة، تقع النقطة L فوق المنحنى OM، وبالتالي، فلا يمكن أن يُتوقع أن يقع ميل الحد في المدى الذي تحت الاعتبار.

(٦,٨) مسائل حساب التدفق المنتظم

يمكن القيام بحساب التدفق المنتظم باستخدام معادلتين وهما معادلة الاستمرارية ومعادلة التدفق المنتظم، وعند استخدام معادلة ماننق على أنها معادلة التدفق المنتظم، فإن الحساب سيتضمن المتغيرات الستة التالية:

١- التصرف العادي Q .

٢- السرعة المتوسطة للتدفق V .

٣- العمق العادي y .

٤- معامل الخشونة n .

٥- ميل القناة المائبة S .

٦- العناصر الهندسية التي تعتمد على ميل مقطع القناة، مثل A ، R ، إلخ.

وعندما تُعطى أربعة من المتغيرات الستة المذكورة أعلاه، فإن المتغيرين الآخرين الباقيين غير المعلومين يمكن

حسابهما من خلال المعادلتين، وما يلي بعض أنواع المسائل الخاصة بحساب التدفق المنتظم:

- أ. لحساب التصرف العادي. في التطبيقات العملية، فإن هذا الحساب مطلوب لتحديد سعة قناة مائية معينة أو لإعداد منحني معدل تصنيف للقناة المائية.
- ب. لحساب سرعة التدفق. لهذا الحساب الكثير من التطبيقات، فعلى سبيل المثال، فمن المطلوب غالباً الحصول على هذه القيمة لدراسة تأثيرات تراكم وتآكل التربة في قناة مائية.
- ج. لحساب العمق العادي. وهذا الحساب مطلوب عند تحديد مرحلة التدفق في قناة مائية.
- د. لحساب خشونة القناة. ويستخدم هذا التقدير معامل الخشونة في قناة مائية، والمعامل الذي يتم حسابه بناءً على هذا يمكن استخدامه في قنوات مائية مماثلة.
- هـ. لحساب ميل القناة. هذا الحساب مطلوب لتعديل ميل قناة مائية معينة.
- و. لحساب أبعاد مقطع القناة المائية. هذا الحساب يكون مطلوباً في الأساس لأغراض التصميم.
- ويحتوي الجدول رقم (٦,٢) على قائمة بالمتغيرات المعلومة وغير المعلومة المتضمنة في كل من الأنواع الستة من المسائل المذكورة سابقاً، وتوضح المتغيرات المعلومة من خلال وضع العلامة (✓) والمتغيرات المجهولة المطلوبة في المسألة يتم تمييزها بالعلامة (?). والمتغيرات المجهولة التي يمكن حسابها من المتغيرات المعلومة يتم تمييزها بالعلامة (-).

ويوضح العمود الأخير من الجدول المثال المعطى في هذا الكتاب لكل نوع من المسائل. والأمثلة الموضحة بين القوسين يتم حلها باستخدام معادلة تشيزي، ومع هذا، فلا بد من ملاحظة أن الجدول رقم (٦,٢) لا يشتمل كل أنواع المسائل. وعن طريق تغير تجمعات المتغيرات المعلومة والمجهولة، يمكن تكوين أنواع أخرى من المسائل. وفي مسائل التصميم، يتم استخدام أفضل مقطع هيدروليكي والقواعد العملية بشكل عام (الجزء رقم ٧,٧) وبالتالي تظهر أنواع جديدة من المسائل.

الجدول رقم (٦,٢). بعض أنواع المسائل الخاصة بحساب التدفق المنتظم.

نوع المسألة	التصرف	السرعة	العمق	الخشونة	الميل	العناصر الهندسية	المثال
	Q	V	y	n	S		
أ	؟	-	✓	✓	✓	✓	المثال رقم (٥,٥) (المسألة ٥,١)
ب	-	؟	✓	✓	✓	✓	المثال رقم (٥,٥) (المسألة ٥,١)
ت	✓	-	؟	✓	✓	✓	المثال رقم (٦,٢)
ث	✓	-	✓	؟	✓	✓	المثال رقم (٥,٦)
ج	✓	-	✓	✓	؟	✓	المثال رقم (٦,٤) (أ)
ح	✓	-	✓	✓	✓	؟	المثال رقم (٧,٢)

(٦,٩) حساب تصرف الفيضان

في حسابات التدفق المنتظم، يفهم نظرياً، أن ميل الطاقة S_f في معادلة التدفق المنتظم يساوي ميل سطح الماء الطولي وكذلك ميل قاع القناة المائية (الجزء رقم (١,٥)), ومع هذا ففي مسارات المياه الطبيعية، تكون هذه الميول الثلاثة متساوية على نحو تقريبي. ونتيجة لظروف القناة المائية غير المنتظمة، فإن خط الطاقة، وسطح المياه، وقاع القناة المائية لا تكون موازية تماماً لبعضها البعض. وإذا كان التغير في السرعة في القناة المائية ليس كبيراً، فإن ميل الطاقة يمكن اعتباره مساوياً تقريباً للقاع أو ميل السطح. وعلى الجانب الآخر، إذا كانت السرعة تتغير بشكل كبير من طرف إلى آخر من القناة المائية، فإن ميل الطاقة لا بد من اعتبار أنه يساوي الفرق بين الضواغط الكلية عند طرفي القناة المائية مقسوماً على طول القناة. وحيث إن الضاغط الكلي يشتمل على ضاغط السرعة، وهو كمية غير معلومة، فمن الضروري استخدام الحل عن طريق التقريب المتتالي عند حساب التصرف.

وفي أثناء مراحل الفيضان، تتغير السرعة إلى حد بعيد، ولا بد من اشتغال ضاغط السرعة في الضاغط الكلي لتحديد ميل الطاقة. وعلاوة على هذا، فإن تدفق الفيضان يكون في الحقيقة متغيراً وغير ثابت، واستخدام معادلة التدفق المنتظم لحساب التصرف يكون مقبولاً فقط عندما يكون التغير في مرحلة الفيضان والتصرف تدريجياً بشكل نسبي.

وإن الاستخدام المباشر لمعادلة التدفق المنتظم لحساب تصرف الفيضان يُعرف بطريقة المساحة-الميل. ويمكن حساب تصرف الفيضان أيضاً باستخدام طريقة أخرى معروفة جيداً تُسمى طريقة الفتحة المتقلصة، والتي فيها يتم تطبيق مبدأ الطاقة بشكل مباشر على فتحة متقلصة في مسار المياه. وكلتا الطريقتين تتطلبان وجود بيانات حول علامات المياه المرتفعة التي يمكن أن يصل لها تدفق الفيضان في القناة، ويمكن العثور على مواضع جيدة لتجميع مثل هذه البيانات ليس فقط على مسارات المياه الرئيسة وإنما أيضاً على الروافد الصغيرة، ولكن لا بد لها أن تكون إما عبارة عن قنوات أودية منتظمة بشكل مقارن خالية من الانحناءات وبالتالي تتناسب جيداً مع طريقة المساحة-الميل أو أن تكون عبارة عن فتحات متقلصة بها انقباضات تعمل على إنتاج زيادة محددة في الضاغط والسرعة وبالتالي تتناسب مع طريقة الفتحة المتقلصة.

وفيما يلي وصف لطريقة المساحة-الميل^٦، وأما طريقة الفتحة المتقلصة فهي تتعلق بالتدفق المتغير سريعاً، وبالتالي، سيتم ذكرها لاحقاً في الجزء رقم (٦,١٧).

(٥) للاطلاع على الوصف الشامل لهاتين الطريقتين، انظر [21].

(٦) لا بد من ملاحظة أن طريقة المساحة-الميل تتعامل في الحقيقة مع التدفق المتغير تدريجياً، ولكن من المعتقد أنه في هذه المرحلة من القراءة يجب أن يكون القارئ قادراً على متابعة خطوات العمل المذكورة هنا. وهذه الطريقة توضح كيف يمكن لمعادلة التدفق المنتظم أن تنطبق على التدفق المتغير تدريجياً وبالتالي فهو يمهّد الطريق لمزيد من المعالجة الشاملة لموضوع التدفق المتغير تدريجياً المذكور في الجزء رقم (٣).

طريقة المساحة-الميل. إن المعلومات التالية ضرورية عند تطبيق طريقة المساحة-الميل: حساب ميل الطاقة على امتداد القناة المائية، وقياس متوسط مساحة المقطع وطول الامتداد، وتقدير معامل الخشونة الذي يمكن تطبيقه على امتداد القناة المائية، وبهذا يصبح بالإمكان حساب الفواقد الناتجة عن الاحتكاك. وعند الحصول على هذه المعلومات، يمكن حساب التصرف باستخدام معادلة التدفق المنتظم، مثل معادلة ماننق. وخطوات الحساب هي كما يلي:

١- من القيم المعلومة للمقادير A ، و R ، و n ، يتم حساب K_u و K_d ، على التوالي، للمقطعين أعلى وأسفل السريان من الامتداد، على التوالي.

٢- حساب متوسط النقل K للامتداد على أنه المتوسط الهندسي لكل من K_u و K_d ، أو:

$$K = \sqrt{K_u K_d} \quad (٦,٣٧)$$

٣- افتراض أن ضاغط السرعة يساوي صفراً، وأن ميل الطاقة يساوي سقوط سطح المياه F في الامتداد مقسوماً على طول الامتداد L ، أو:

$$S = \frac{F}{L} \quad (٦,٣٨)$$

والتصرف المناظر يمكن، بالتالي، حسابه باستخدام المعادلة رقم (٦,٣)، أو:

$$Q = K \sqrt{S} \quad (٦,٣)$$

والتي تعطي التقريب الأول للتصرف.

٤- افتراض أن التصرف يساوي التقريب الأول، وحساب ضاغط السرعة عند المقطعين أعلى وأسفل السريان، أو $\alpha_u V_u^2 / 2g$ و $\alpha_d V_d^2 / 2g$ ، وبالتالي فإن ميل الطاقة يساوي:

$$S = \frac{h_f}{L} \quad (٦,٣٩)$$

$$h_f = F + k \left(\alpha_u V_u^2 / 2g - \alpha_d V_d^2 / 2g \right) \quad \text{حيث إن:} \quad (٦,٤٠)$$

و k معامل. وعندما يكون الامتداد متقلصاً ($V_u < V_d$)، فإن $k = 1.0$. وعندما يكون الامتداد متسعاً ($V > V_d$)، فإن $k = 0.5$. والانخفاض في قيمة k بمقدار ٥٠٪ في الامتداد المتسع من المفترض على نحو مألوف لاستعادة ضاغط السرعة الناتج عن اتساع التدفق، وعندئذ يجب التصرف المناظر باستخدام المعادلة رقم (٦,٣) باستخدام الميل المنقح الذي تم الحصول عليه باستخدام المعادلة رقم (٦,٣٩). وهذا يعطي التقريب الثاني للتصرف.

٥- إعادة الخطوة رقم ٤ للحصول على التقريب الثالث والتقريب الرابع، وهكذا إلى أن يحدث التوافق بين التصرفات المفترضة والمحسوبة.

٦- أخذ متوسط التصرفات المحسوبة للعديد من الامتدادات، وموازنتها بشكل متساوٍ أو كما تملي الظروف.

المثال رقم (٦, ٦). احسب تصرف الفيضان عبر امتداد نهر طوله ٥٠٠ قدم له قيم معلومة لمساحات المياه، والنقل، ومعاملات الطاقة لمقاطع أعلى وأسفل السريان. وبوجود انخفاض في سطح الماء في الامتداد يساوي ٠,٥٠ قدم.

الحل: مساحات المياه، والنقل، ومعاملات الطاقة لطرفي المقاطع في الامتداد هي:

$$A_u = 11,070 \quad K_u = 3.034 \times 10^6 \quad \alpha_u = 1.134$$

$$A_d = 10,990 \quad K_d = 3.103 \times 10^6 \quad \alpha_d = 1.177$$

ومتوسط قيمة K:

$$K = \sqrt{3.034 \times 10^6 \times 3.103 \times 10^6} = 3.070 \times 10^6$$

وللتقريب الأول، يفترض أن $h_f = 0.50 \text{ ft}$. إذن:

$$\sqrt{S} = 0.0316 \quad \text{و} \quad S = 0.50/500 = 0.0010$$

$$Q = K \sqrt{S} = 3.070 \times 10^6 \times 0.0316 = 97,000 \text{ cfs} \quad \text{و}$$

وللتقريب الثاني، يفترض أن $Q = 97,000 \text{ cfs}$. وبهذا يكون ضاغطا السرعة عند طرفي المقاطع هما:

$$\alpha_u \frac{V_u^2}{2g} = 1.134 \frac{(97,000/11,070)^2}{2g} = 1.354$$

$$\alpha_d \frac{V_d^2}{2g} = 1.177 \frac{(97,000/10,990)^2}{2g} = 1.424$$

$$-0.070$$

وحيث إن V_u أقل من V_d ، فإن التدفق يكون متقلصاً، و $k = 1.0$. ومن ثم فإن:

$$S = 0.430/500 = 0.00086 \quad \text{و} \quad h_f = 0.500 - 0.070 = 0.430$$

$$Q = 3.070 \times 10^6 \times 0.0293 = 90,000 \text{ ft}^3/\text{s} \quad \text{و} \quad \sqrt{S} = 0.0293$$

وبالمثل، يتم القيام بإجراء التقريبات الأخرى، كما هو موضح في الجدول رقم (٦, ٣). وقد وُجد أن

التصرف المقدر يبلغ ٩١٠٠٠ قدم^٣/ث.

الجدول رقم (٦,٣). حساب تصرف الفيضان باستخدام طريقة المساحة-الميل بالمثال رقم (٦,٦).

التقريب	Q المفترضة	F	$\alpha_u \frac{V_u^2}{2g}$	$\alpha_d \frac{V_d^2}{2g}$	h_f	S	\sqrt{S}	Q المحسوبة
الأول	.....	٠,٥٠٠	.....	.....	٠,٥٠٠	٠,٠٠١٠٠٠	٠,٠٣١٦	٩٧٠٠٠
الثاني	٩٧٠٠٠	٠,٥٠٠	١,٣٥٤	١,٤٢٤	٠,٤٣٠	٠,٠٠٠٨٦٠	٠,٠٢٩٣	٩٠٠٠٠
الثالث	٩٠٠٠٠	٠,٥٠٠	١,١٦٥	١,٢٥٥	٠,٤٤٠	٠,٠٠٠٨٨٠	٠,٠٢٩٧	٩١٢٠٠
الرابع	٩١٢٠٠	٠,٥٠٠	١,١٩٥	١,٢٥٨	٠,٤٣٧	٠,٠٠٠٨٧٤	٠,٠٢٨٦	٩١٠٠٠
الخامس	٩١٠٠٠	٠,٥٠٠	١,١٩٠	١,٢٥٣	٠,٤٣٧	٠,٠٠٠٨٧٤	٠,٠٢٩٦	٩١٠٠٠

(٦,١٠) التدفق السطحي المنتظم

عندما تتدفق المياه عبر سطح عريض، ينتج ما يُسمى بالتدفق السطحي، ويمكن أن يكون عمق التدفق رقيقاً جداً بالمقارنة مع عرض التدفق الذي يصبح عبارة عن تدفق قناة مائية مكشوفة عريضة، يُعرف على وجه التحديد بالتدفق الصفيحي. وفي أحواض الصرف يحدث التدفق السطحي نتيجة للجريان الطبيعي، ويُطلق عليه التدفق فوق الأرضي.

ويمكن أن يكون التدفق المنتظم مضطرباً أو طبقياً، بناءً على بعض العوامل مثل التصرف، والميل، واللزوجة، ودرجة خشونة السطح، فإذا كانت سرعات وأعماق التدفق صغيرة نسبياً، فإن اللزوجة تصبح هي العامل المهيمن ويكون التدفق طبقياً. وفي هذه الحالة يطبق قانون نيوتن للزوجة، وهو يعبر عن العلاقة بين اللزوجة الديناميكية μ وإجهاد القص τ عند مسافة y من السطح الحدودي (الشكل رقم (٦,٩))، كما يلي:

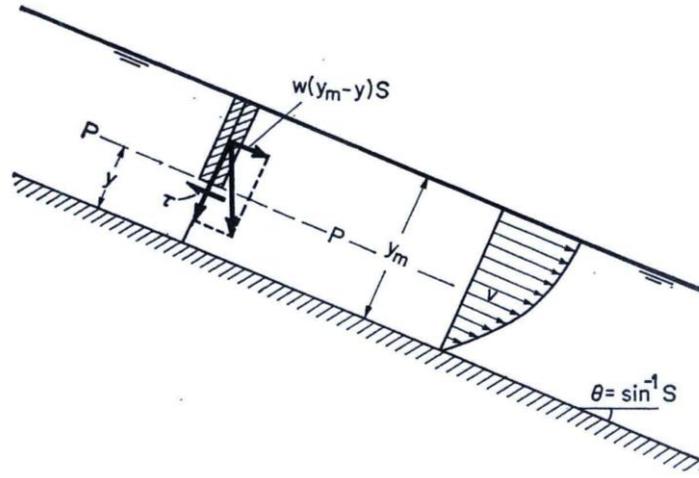
$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (٦,٤١)$$

وللتدفق المنتظم الطبقي، فإن مكون قوة الجاذبية الموازي للتدفق في أي طبقة رقيقة يتوازن عن طريق قوة الاحتكاك. وبتعبير آخر، فإن إجهاد القص τ لكل وحدة مساحة من التدفق الطبقي على امتداد الطبقة PP (الشكل رقم (٦,٦)) يساوي المكون الفعال لقوة الجاذبية، أي أن، $\tau = w(y_m - y)S$. وحيث إن وحدة الوزن $w = \rho g$ و $\mu / \rho = \nu$ (الجزء رقم (١,٣))، فإن $\tau = g\mu(y_m - y)S / \nu$ ، وبالتالي، من المعادلة رقم (٦,٤١):

$$dv = \frac{gS}{\nu} (y_m - y) dy$$

وبإجراء التكامل وملاحظة أن $v = 0$ عندما $y = 0$:

$$v = \frac{gS}{\nu} \left(yy_m - \frac{y^2}{2} \right) \quad (٦,٤٢)$$



الشكل رقم (٦,٩). التدفق المنتظم الطبقي للقناة المائية المكشوفة.

وهذه هي المعادلة التربيعية التي تبين أن سرعة التدفق المنتظم الطبقي في القنوات المائية المكشوفة العريضة لها توزيع قطعي مكافئ، وبإجراء التكامل للمعادلة رقم (٦,٤٢) من $y = 0$ إلى $y = y_m$ وقسمة الناتج على y_m ، ينتج متوسط السرعة:

$$(٦,٤٣) \quad V = \frac{1}{y_m} \int_0^{y_m} v \, dy = \frac{gS y_m^2}{3v}$$

والتصرف لوحدة العرض هو

$$(٦,٤٤) \quad q = C_L y_m^3$$

حيث إن: $C_L = gS/3v$ ، معامل يتضمن الميل واللزوجة.

ويصبح التدفق السطحي المنتظم مضطرباً إذا كان السطح خشناً وإذا كان عمق التدفق كبيراً بدرجة تكفي لحدوث دوامات مستمرة، وفي هذه الحالة تصبح خشونة السطح هي العامل المهيمن، ويمكن التعبير عن السرعة بسهولة باستخدام معادلة مانتيق. وبالتالي، يكون التصرف لوحدة العرض هو:

$$(٦,٤٥) \quad q = C_T y_m^{5/3}$$

حيث إن y_m متوسط عمق التدفق، وإن $C_T = 1.49S^{0.5}/n$ ، وهو معامل يتضمن الميل والخشونة.

ولقد تمت دراسة التغير في حالة التدفق الصفيحي من الطبقي إلى المضطرب من قبل كثير من علماء الهيدروليكا. وقد وُجد لمرات عديدة أن المدى الانتقالي يكون عند $R_N = 310$ من قبل جيفريز [22]، ويكون من $R_N = 300$ إلى $R_N = 330$ من قبل هوبف [23]، ويكون من $R_N = 548$ إلى $R_N = 773$ من قبل هورتون [24]. ولكن، اعتقد هورتون أن معيار رينولد غير مرضٍ للتدفق الصفيحي عبر أسطح خشنة

نسبياً. وقد أرجع السبب إلى أنه عند النقطة الانتقالية، تكون سرعات التدفق الطبقي والمضطرب متساوية تقريباً، لأن هذه الحالة من تساوي السرعات تمثل أقل كمية من الطاقة القادرة على الحفاظ على التدفق المضطرب، وبالتالي، لا يمكن أن يكون التدفق مضطرباً إذا كانت السرعة أقل من

$$V = \frac{v}{4.83 n^2 y_m^{2/3}} \quad (٦, ٤٦)$$

حيث إن y_m متوسط عمق التدفق.

وحيث إن سطح الأرض الطبيعي نادراً ما يكون مستوياً تماماً ومنتظماً في الميل، فإن التدفق فوق الأراضي يكون عرضة للتغير من التدفق الطبقي للمضطرب، والعكس بالعكس، عبر مسافة قصيرة. ونتيجة لهذا، يصبح التدفق مختلطاً بين طبقي ومضطرب. وللأسطح الخشنة جداً والمساحات التي تكون مغطاة بشكل مكثف بالنباتات، يكون التدفق بشكل عام عالي الاضطراب. وأوضح التجارب أن تصرف التدفق فوق الأراضي لوحدة العرض من التدفق يتغير مع متوسط عمق التدفق كما يلي:

$$q = C y_m^x \quad (٦, ٤٧)$$

حيث إن C معامل وحيث إن الأس x يتغير بين ١,٠ للتدفق عالي الاضطراب و ٣,٠ للتدفق المختلط.

مسائل

(٦, ١) احسب التصرفات الطبيعية في القنوات المائية التي لها المقاطع التالية في حالة $y = 6 \text{ ft}$ ،

و $n = 0.015$ ، و $S = 0.0020$:

أ. مقطع مستطيل عرضه ٢٠ قدم.

ب. مقطع مثلث بزاوية قاع تساوي ٦٠ درجة.

ج. مقطع شبه منحرف بعرض قاع قدره ٢٠ قدم وميول جانبية ١ على ٢.

د. مقطع دائري قطره ١٥ قدم.

هـ. مقطع قطع مكافئ له عرض قدره ١٦ قدم عند عمق قدره ٤ قدم.

(٦, ٢) اشتق المعادلة التالية الخاصة بالتصرف في مصرف مثلث الشكل على الطريق السريع (الشكل رقم

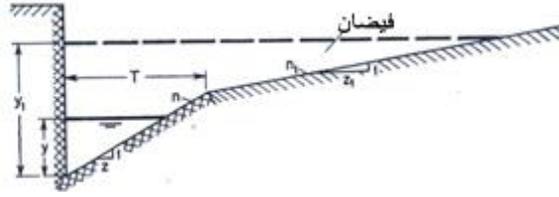
(٦, ١٠)) لها جانب رأسي، وجانب واحد مائل عند ١ على z ، حيث n معامل ماننق، و y عمق التدفق، و S الميل

الطولي:

$$Q = \frac{0.47}{n} f(z) y^{8/3} S^{1/2} \quad (٦, ٤٨)$$

$$f(z) = \frac{z^{5/3}}{\left[1 + \sqrt{1 + z^2}\right]^{2/3}}$$

حيث إن



الشكل رقم (٦, ١٠). مقطع مصرف على الطريق السريع.

(٦, ٣) احسب التصرف في مصرف الطريق العام مثلث الشكل المذكور في المسألة السابقة عندما $z = 24$ ، و $n = 0.017$ ، و $y = 0.22$ ft و $S = 0.03$.

(٦, ٤) باستخدام معادلة ماننق، احسب الأس الهيدروليكي N لمقاطع القنوات المائية التالية: (أ) مستطيل ضيق جداً، و(ب) مستطيل عريض جداً، و(ج) قطع مكافئ عريض جداً، والذي من الناحية العملية العرض العلوي له يساوي المحيط المبلل، و(د) مثلث متساوي الساقين رأسه لأسفل.

(٦, ٥) باستخدام معادلة تشيزي، بين أن المعادلة العامة للأس الهيدروليكي N هي:

$$(٦, ٤٩) \quad N = \frac{y}{A} \left(3T - R \frac{dP}{dy} \right)$$

(٦, ٦) حل المسألة رقم (٦, ٤) إذا كان حساب الأس الهيدروليكي قائماً على معادلة تشيزي. قارن النتائج بتلك التي تم الحصول عليها في المسألة رقم (٦, ٤).

(٦, ٧) احسب الأس الهيدروليكي N لمقطع القناة المائية شبه المنحرف (الشكل رقم (٢, ٢)) التي لها عمق عادي قدره ٦ قدم، باستخدام (أ) المعادلة رقم (٦, ١٥)، و(ب) الشكل رقم (٦, ٢)، و(ج) الطريقة البيانية بناءً على المعادلة رقم (٦, ١٦).

(٦, ٨) احسب الأس الهيدروليكي N لقناة دائرية قطرها ٣٦ بوصة والتي لها عمق عادي قدره ٢٤ بوصة فوق المنتصف، باستخدام (أ) الشكل رقم (٦, ٢)، و(ب) الطريقة البيانية بناءً على المعادلة رقم (٦, ١٦).

(٦, ٩) باستخدام معادلة ماننق، بين أن أعماق أكبر تصرف وأكبر سرعة في قناة دائرية هي، $0.938d_0$ و $0.81d_0$ ، على التوالي.

(٦, ١٠) على أساس معادلة تشيزي، احسب الأعماق المناظرة لأكبر تصرف وأكبر سرعة في قناة دائرية.

(٦, ١١) عند أي أعماق سيحدث أكبر تصرف وأكبر سرعة في قناة مربعة يتم وضعها في وضع مسطح على

أحد الجوانب؟

(٧) توضح معادلة جي كيه أن معامل تشيزي C عبارة عن دالة في نصف القطر الهيدروليكي ومن ثم في العمق y . وبالتالي، لم يتم إيجاد أن معادلة تشيزي ملائمة جداً لحساب قيمة N . وللتغلب على ذلك في الأرض وفي أنواع التربة المكونة من الحصى، وُجد أن قيمة N بشكل عام تزداد بحوالي ٠,٣٠ إلى ٠,٥٠ نتيجة للتغير في معامل تشيزي C مع العمق. ومع هذا، فإن هذه الزيادة تجعل قيمة N تقترب أكثر من تلك التي تعتمد على معادلة ماننق.

(٦, ١٢) قم بإعداد منحنيات تغيرات السرعة والتصرف نسبة إلى العمق في قناة مربعة يتم وضعها في وضع مسطح على أحد الجوانب.

(٦, ١٣) قناة مائية من المفترض أن يكون لها نصف قطر هيدروليكي ثابت R لأي عمق للتدفق. أثبت أن المقطع العرضي لهذه القناة المائية يمكن تعريفه كما يلي:

$$y = R \left[\ln \left(x + \sqrt{x^2 + R^2} \right) - \ln R \right] \quad (٦, ٥٠)$$

حيث إن $x = R$ عندما $y = 0$. وارسم مخطط لهذا المقطع وناقش خواصه.

(ملحوظة: من الشروط المعطاة، $R = A/P = dA/dP = x dy / \sqrt{dx^2 + dy^2}$. حل هذه المعادلة التفاضلية، وقيم ثابت التكامل عن طريق الشرطين $x = R$ و $y = 0$. ومن الناحية الرياضية، يتكون المقطع من اثنين من المئويات كجانبيين. وللأغراض العملية، لا بد من توفير قاع صناعي حيث إن المقطع النظري لا قاع له. ومعادلة التدفق المنتظم، مثل معادلة ماننق، تبين أن نصف القطر الهيدروليكي هو معامل الشكل الوحيد الخاص بالسرعة. ويمكن التحقق من كفاية هذا التوضيح بشكل تجريبي عن طريق اختبار بناء القناة المائية الخاص بالمقطع الذي له نصف قطر هيدروليكي ثابت. وإذا كان التوضيح صحيحاً، فبمجرد تصميم هذه القناة بسرعة آمنة، فلا بد من أن تكون غير مجمعة وغير منجرفة عبر مدى واسع من المراحل. ومع هذا، في الترع الأرضية، سيعمل التغير الكبير في سطح التربة في أثناء تغير المرحلة على تآكل الجانبين بشكل غاية في السهولة).

(٦, ١٤) تحقق من المعادلات من رقم (٦, ١٧) إلى رقم (٦, ١٩).

(٦, ١٥) قناة اختبار مستطيلة الشكل عرضها ٢ قدم وموضوعة على منحدر مائل بنسبة ١,٠٣٥٪. عندما يكون قاع القناة المائية والجدران مصنوعين من الأسمنت الأملس، كان العمق العادي المقاس للتدفق ١,٣٦ قدم مع تصرف ٨,٩ قدم^٣/ث. وعند تحشين نفس القناة المائية بحبيبات رملية، أصبح العمق العادي المقاس ١,٣١ قدم مع تصرف قدره ٥,٢ قدم^٣/ث.

أ. احسب تصرف العمق العادي ١,٣١ قدم إذا تم تحشين القاع وتم إبقاء الجدران ملساء.

ب. احسب تصرف العمق العادي ١,٣١ قدم إذا تم تحشين الجدران وتم إبقاء القاع أملس.

ج. تصرفات الحالتين المذكورة في أ و ب تم قياسهما بالفعل ووجد أنهما ٦,٦٠ و ٦,٢٠ قدم^٣/ث، على

التوالي. احسب قيم n المناظرة، وقارن بين هذه القيم وتلك التي تم حسابها باستخدام المعادلات من رقم (٦, ١٧) إلى (٦, ١٩).

(٦, ١٦) قناة مائية تتكون من مقطع رئيس ومقطع جانبيين (الشكل رقم (٦, ٦)). احسب التصرف

الكلي، بفرض أن المقطع الرئيس والمقطع الجانبيين منفصلان: (أ) عن طريق خطوط تقسيم رأسية و(ب) عن طريق الجوانب الممتدة للقناة المائية الرئيسة. المعطيات: $n = 0.25$ للقناة الرئيسة، و $n = 0.030$ للقنوات الجانبية، و $S = 0.001$.

(٦,١٧) يبين المسح الهيدرولوجرافي لمسار المياه أن الخواص الهيدروليكية لمسار المياه منتظمة نسبياً للطول عبر ٢ ميل، والبيانات التي تم الحصول عليها من خلال المسح هي:
أ. المقطع العرضي لمسار المياه عند محطة أعلى السريان النمطية في الامتداد المنتظم معطى بالإحداثيات التالية:

المحطة	النسب m.s.l	المحطة	النسب m.s.l
الضفة اليسرى:	٥٩٠,٠	٠٠+٠	٥٤٣,٧
	٥٨٠,٧	٠٠+١	٥٤٠,٠
	٥٧٨,٢	٠٠+٢	٥٧٢,٢
	٥٨٢,٠	٠٠+٣	٥٧٣,٢
	٥٨١,٠	٠٠+٤	٥٦٨,٥
	٥٨٠,٠	٠٠+٥	٥٩٠,٠

ب. قيمة n للقناة المائية الرئيسة تساوي ٠,٠٣٥، وللقنوات الجانبية تساوي ٠,٠٥٠.

ج. الميل العادي لمسار المياه يبلغ حوالي ١ قدم/ميل.

قم بإعداد منحنى تصنيف مصطنع. ومن المقترح أن مساحات المياه الخاصة بالقناة المائية الرئيسة والقنوات الجانبية تنفصل عن طريق الجوانب الممتدة للقناة المائية الرئيسة.

(٦,١٨) احسب التصرف في قناة تحت أرضية بالطريق السريع (الشكل رقم (٦,١٠)) والتي لها عمق تدفق قدره ٣ بوصة وميل طولي قدره ٠,٠٣. والقناة من الخرسانة مع $n = 0.017$ ولها مقطع مثلث به جانب مرتفع رأسي، وجانب مائل $z = 12$ ، وعرض علوي قدره $T = 2 \text{ ft}$ ، ورصف التربة للقناة بميل عرضي قدره $z_1 = 24$ و $n_1 = 0.020$.

(٦,١٩) لكمية مساوية من التصرف، فإن القناة المائية المغطاة بالجليد يجب أن يكون لها عمق أكبر من التدفق من القناة المائية غير المغطاة، لسببين: (١) المحيط المبلل أكبر في القناة المائية المغطاة بالجليد وبالتالي فإنه يؤدي إلى ظهور مقاومة أكبر أو سرعة أقل، و(٢) سمك الغطاء الجليدي أكبر من عمق المياه التي لها نفس الوزن، حيث إن الوزن النوعي للجليد يبلغ حوالي ٠,٩١٧. وضح أن الزيادة في العمق الناتجة عن المقاومة في قناة مائية مكشوفة عريضة مغطاة بالجليد يمكن التعبير عنها عن طريق العلاقة:

$$(٦,٥١) \quad \Delta y = \left[1.32 \left(\frac{n_1}{n} \right)^{3/5} - 1 \right] y$$

حيث إن n_1 معامل خشونة القناة المائية التي لها غطاء جليدي، و n معامل خشونة القناة المائية في عدم وجود غطاء جليدي، و y عمق التدفق في القناة المائية التي تحمل نفس التصرف ولكن بدون وجود غطاء جليدي.

(٦,٢٠) احسب الناقل ومعاملات توزيع السرعة لمقطع القناة المائية على بعد ٥٠ قدم أسفل السريان من المقطع المذكور في المثال رقم (٦,١). وبيانات المسح لهذا المقطع لنفس الفيضان هي:

اسم المقطع	A، قدم ^٢	P، قدم	n	α	β
المقطع الرئيس	٥٣٢٠	٢٠٥	٠,٠٣٥	١,١٢	١,٠٥
المقطع الجانبي	٥٦٧٠	٤٠٨	٠,٠٤٠	١,١٠	١,٠٤

(٦,٢١) حل المثال رقم (٦,٢) باستخدام معادلة جي كيه.

(٦,٢٢) قناة مائية مستطيلة الشكل عرضها ٢٠ قدم، و $S = 0.006$ ، و $n = 0.015$ ، تحمل تصرفاً قدره ٢٠٠ قدم^٣/ث. احسب العمق العادي والسرعة العادية.

(٦,٢٣) باستخدام معادلة ماننق، احسب الأعماق العادية في القنوات المائية التي له المقاطع التالية عندما $Q = 100 \text{ ft}^3/\text{s}$ ، و $n = 0.015$ ، و $S = 0.0020$:

أ. مقطع مستطيل عرضه ٢٠ قدم.

ب. مقطع مثلث بزاوية قاع تساوي ٦٠ درجة.

ج. مقطع شبه منحرف بعرض قاع قدره ٢٠ قدم وميول جانبية ١ على ٢.

د. مقطع دائري قطره ١٥ قدم.

هـ. مقطع قطع مكافئ له عرض قدره ١٦ قدم عند عمق قدره ٤ قدم.

(٦,٢٤) حل المثال رقم (٦,٢) باستخدام الطريقة البيانية.

(٦,٢٥) قناة مائية مستطيلة الشكل بعرض ٢٠ قدم لها معامل خشونة قدره $n = 0.015$.

أ. احسب الميل العادي عند العمق العادي ١,٢٣ قدم لتصرف ٢٠٠ قدم^٣/ث.

ب. احسب الميل الحرج والعمق العادي المناظر لتصرف يساوي ٢٠٠ قدم^٣/ث.

ج. احسب الميل الحرج عند العمق العادي ١,٢٣ قدم، واحسب التصرف المناظر.

(٦,٢٦) وضح أن الميل الحرج عند عمق عادي ما y_n يمكن التعبير عنه عن طريق العلاقة:

$$(٦,٥٢) \quad S_{cn} = \frac{14.5 n^2 D_n}{R_n^{4/3}}$$

وأن هذا الميل للقناة المائية العريضة هو:

$$(٦,٥٣) \quad S_{cn} = \frac{14.5 n^2}{y^{1/3}}$$

(٦,٢٧) احسب ميل الحد للقناة المائية المذكورة في المثال رقم (٦,٤).

(٦,٢٨) قم بإعداد منحنيات الميل الحرج للقناة المائية المذكورة في المثال رقم (٦,٥) للعرض b الذي يبلغ ١

قدم، و ٤ قدم، و ٢٠ قدم، و ∞ .

(٦,٢٩) قم بتحديد منحنيات الميل الحرج الخاصة بالقناة المائية المذكورة في المثال رقم (٦,٤) لقيم الميل

الجانبيية Z التي تساوي ٠، ٢، ٠، ٥، و ١، و ٢، و ٥، و ∞ .

(٦,٣٠) قناة مائية امتدادها ١٠٠٠ قدم به هبوط في سطح المياه في أثناء الفيضان يساوي ٠,٣٥ قدم.

احسب تصرف الفيضان عبر هذا الامتداد، باستخدام البيانات التالية:

المقطع	A، قدم'	P، قدم	n	α	β
أعلى السريان:					
القناة الرئيسية	٤٢٥٠	٢١٠	٠,٠٣٨	١,١٠	١,٠٤
القناة الجانبية	٢٥٦٢٠	٢٠٥٠	٠,٠٣٨	١,٢٠	١,٠٨
أسفل السريان:					
القناة الرئيسية	٥٧٦٠	٣٢٠	٠,٠٤٢	١,١٠	١,٠٤
القناة الجانبية	٢٥٦١٠	١٩٠٥	٠,٠٣٨	١,١٨	١,٠٦

(٦,٣١) اثبت المعادلة رقم (٦,٤٦).

(٦,٣٢) باستخدام المعادلة رقم (١,٥) والمعادلة رقم (٦,٤٣)، احسب قيمة K في المعادلة رقم (١,٨).

(٦,٣٣) احسب التصرفات لوحدة العرض من التدفق الصفيحي على السطح مع $n = 0.01$ و $S = 0.036$

عندما يكون عمق التدفق (أ) ٠,٠١ قدم، و(ب) ٠,٠٠٤ قدم. ودرجة حرارة المياه ٦٨ درجة فهرنهايت.

(٦,٣٤) قارن بين معايير هورتون للتدفق الصفيحي في المسألة رقم (٦,٣٣) بتلك الموضحة بالمخطط البياني

في الشكل رقم (١,٣).

(٦,٣٥) يبين أن معاملات توزيع السرعة للتدفق المنتظم الطبقي في القنوات المائية المكشوفة العريضة هي

$$\beta = 1.20 \text{ و } \alpha = 1.54$$

(٦,٣٦) باستخدام معادلة بلاسيوس رقم (١,٦) للتدفق المضطرب في القنوات المائية المكشوفة، يبين أن

$$\text{الأس المناظر في المعادلة رقم (٦,٤٧) هو } x = 12/7$$

المراجع

1. Ven Te Chow: Integrating the equation of gradually varied flow, paper 838, *Proceedings, American Society of Civil Engineers*, vol. 81, pp. 1-32, November, 1955.
2. R. R. Chugaev: Nekotorye voprosy neravnomernogo dvizheniia vody v otkrytykh prizmaticheskikh ruslakh (About some questions concerning nonuniform flow of water in open channels), *Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel' Skogo Instituta Gidrotekhniki (Transactions, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering)*, Leningrad, vol. 1, pp. 157-227, 1931.
3. Phillip Z. Kirpich: Dimensionless constants for hydraulic elements of openchannel cross-sections, *Civil Engineering*, vol. 18, no. 10, p. 47, October, 1948.
4. N. N. Pavlovskii: "Gidravlicheski Spravochnik" ("Handbook of Hydraulics"), Onti, Leningrad and Moscow, 1937, p. 515.
5. A. N. Rakhmanoff: O postroenii krivykh svobodnoi poverkhnosti v prizmaticheskikh i tsilindrisheskikh ruslakh pri ustanovivshemsia dvizhenii (On the construction of curves of free surfaces in prismatic and cylindrical channels with established flow), *Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel' Skogo Instituta*

- Gidrotekhniki (Transactions, All-Union Scientific Beeorch. Institute of Hydraulic Engineering)*, Leningrad, vol. 3, pp. 75-114, 1931.
6. Robert E. Horton: Separate roughness coefficients for channel bottom and sides, *Engineering News-Record*, vol. 111, no. 22, pp. 652-653, Nov. 30, 1933.
 7. H. A. Einstein: Der hydraulische oder Profil-Radius (The hydraulic or cross section radius), *Schweizerische Bauzeitung*, Zurich, vol. 103, no. 8, pp. 89-91, Feb. 24, 1934.
 8. Ahmed M. Yassin: Mean roughness coefficient in open channels with different roughness of bed and side walls, *Eidgenossische technische Hochschule Zurich. Mitteilungen aus der Versuchsanstalt fur Wasserbau und Erdbau, No. 27*, Verlag Leemann, Zurich, 1954.
 9. N. N. Pavlovskii: K voprosu o raschetnoi formule dlia ravnornernogo dvizheniia v vodotokakh s neodnorodnymi stenkami (On a design formula for uniform movement in channels with nonhomogeneous walls), *Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Gidrotekhniki (Transactions, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering)*, Leningrad, vol. 3, pp. 157-164, 1931.
 10. L. Muhlhofer : Rauhigkeitsuntersuchungen in einem Stollen mit betonierter Sohle und unverklebten Wanden (Roughness investigations in a shaft with concrete bottom and unlined walls), *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*, Munnich, vol. 28, no. 8, pp. 85-88, 1933.
 11. H. A. Einstein and R. B. Banks: Fluid resistance of composite roughness, *Transactions, American Geophysical Union*, vol. 31, no. 4, pp. 603-610, August, 1950.
 12. G. K. Lotter: Soobrazheniia k gidravlicheskomu raschetu rusel s razlichnoi sherokhovatostiu stenok (Considerations on hydraulic design of channels with different roughness of walls), *Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Gidrotekhniki (Transactions, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering)*, Leningrad, vol. 9, pp. 238-241, 1933.
 13. G. K. Lotter: Vliianie uslovii ledobrazovaniia i tolshchiny l'da na raschet derivatsionnykh kanalov (Influence of conditions of ice formation and thickness on the design of derivation canals), *Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Gidrotekhniki (Transactions, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering)*, Leningrad, vol. 7, pp. 55-80, 1932.
 14. G. K. Lotter: Metod akstemika N. N. Pavlovskogo dlia opredeleniia koefitsienta sherokhovatosti rusel, pokrytykh l'dom (Method by Academy Member N. N. Pavlovskii for determination of roughness coefficients of ice-covered channels), *Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Gidrotekhniki (Transactions, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering)*, Leningrad, no. 29, 1941.
 15. P. N. Belokon: "Inzhenemata gidravlika potoka pod ledianym pokrovom" ("Engineering Hydraulics of a Current under Ice Cover"), Gosenergoizdat, Moscow and Leningrad, 1940.
 16. Horace William King, "Manning Formula Tables," vol. 11, "Flow in Open Channels," McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1939.
 17. I. Hydraulic and Excavation Tables," U.S. Bureau of Reclamation, 10th ed., 1950.
 18. "Hydraulic Tables," D.S. Corps of Engineers, U.S. Government Printing Office, Washington, D. e., 2d ed., 1944.
 19. Horace William King: "Handbook of Hydraulics," 4th ed., revised by Ernest F. Brater, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1954, sec. 7, table 90.
 20. P. A. Arghyropoulos: "Calcul de l'écoulement en conduites sous pression ou a surface libre, d'apres la formule de Manning-Strickler" ("Computation of Flow in Conduits under Pressure or with Free Surface, Using Manning-Strickler Formula"), Dunod, Paris, 1958.
 21. Ivan E. Houk: Calculation of flow in open channels, *Miami Conservancy District Technical Report, Pt. IV*, Dayton, Ohio, 1918.
 22. H. Jeffreys: Flow of water in an inclined channel of rectangular section, *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 49, no. 293, pp. 793-807, May, 1925.
 23. L. Hopf: Turbulenz bei einem Flusse (Turbulence in a flow), *Annalen der Physik*, Halle and Leipzig, vol. 32, sec. 4, pp. 777-808, April-July, 1925.
 24. Robert E. Horton, H. R. Leach, and R. Van Vliet: Laminar sheet flow, *Transactions, American Geophysical Union*, vol. 15, pt. 2, pp. 393-404, 1934.