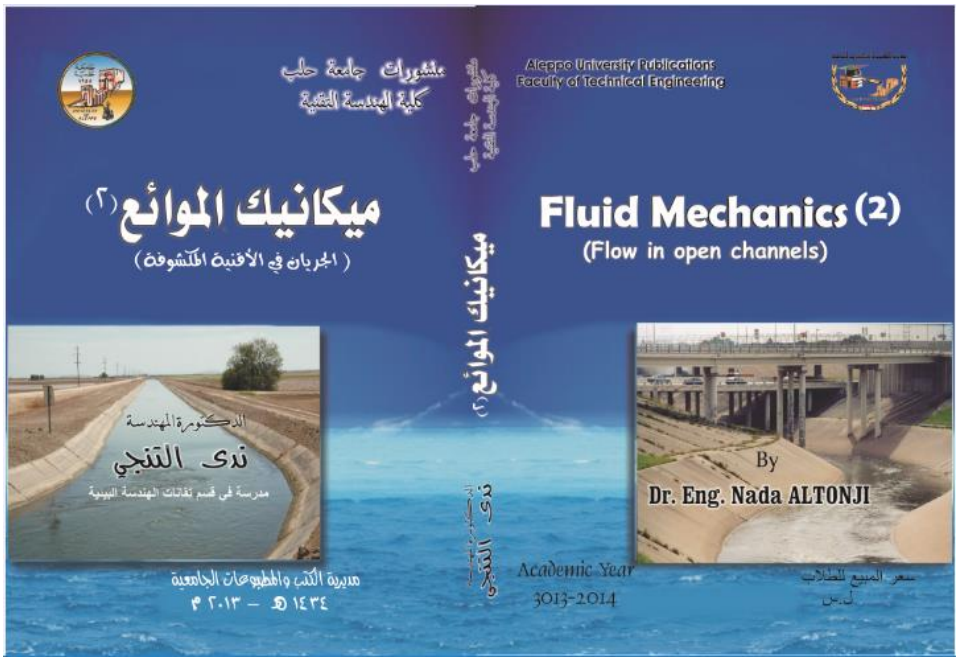

منشورات جامعة حلب
كلية الهندسة التقنية
ميكانيك الموائع (٢)
(الجريان في الأقنية المكشوفة)
الدكتورة المهندسة
ندى التنجي
مدرسة في قسم تقانات الهندسة البيئية
مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤٣٤ هـ - ٢٠١٣ م
Aleppo University Publications
Faculty of Technical Engineering
Fluid Mechanics (2)
(Flow in open channels)
By
Dr. Eng. Nada ALTONJI
Academic Year
3013-2014
سعر المبيع للطلاب
ل.س

ميكانيك الموائع (٢)
(الجريان في الأقنية المكشوفة)

منشورات جامعة حلب
كلية الهندسة التقنية

ميكانيك الموائع (٢)

(الجريان في الأقنية المكشوفة)

الدكتورة
ندى التنجي
مدرسة في قسم تقانات الهندسة البيئية

لطلاب السنة الثالثة
قسم تقانات الهندسة البيئية

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤٣٤هـ - ٢٠١٣م

الفهرس

مقدمة

يعتبر الكتاب الحالي مرجعاً مفيداً لطلاب السنة الثالثة في كلية الهندسة التقنية ،قسم تقانات الهندسة البيئية.

يغطي كتاب ميكانيك الموائع 2 مواضيع تندرج في اطار ما نسميه الهيدروليك الهندسي أي الهيدروليك الذي يدرس حركة المياه في المنشآت الهندسية وصولاً الى العلاقات التي تسمح بتصميم الأجزاء المختلفة من هذه المنشآت. وهذا الكتاب يؤمن تغطية مناسبة للمبادئ الأساسية لجريان الموائع في الأقنية المكشوفة اذ اشتمل الكتاب على دراسات تفصيلية لمواضيع الجريان الدائم في الاقنية المكشوفة ، والجريان الحرج وكذلك الجريان المتغير بشكل تدريجي وبشكل مفاجئ.

ادرج الكتاب الحالي عدد غير قليل من الامثلة التطبيقية المحلولة المرتبطة بالقسم النظري للكتاب.

رغم أن تعليم الهندسة يطرح مطلباً أساسياً في البلدان المتطورة فإنه يشكل تحدياً شديد الوطأة في البلدان النامية إذ أن الحاجة الفورية للكوادر التقنية لتحقيق التنمية السريعة وكذلك الرغبة في وضع مناهج وطرائق تدريب تلائم الاحتياجات المحلية تشكلان حوافز محركة قد تعرض علم الهندسة وتدريسه في العالم النامي للخطر إن لم يكن هنالك توجيه صحيح.

إن تأمين الأساس العلمي الذي ترتكز عليه مهنة الهندسة تعتبر الدور المطلوب في أية مؤسسة هندسية، بتعبير آخر يجب أن تعكس المناهج الهندسية إعداداً قاعدياً كافياً من أجل مستوى ملائم للتنمية المحلية دون المساس بعلم الهندسة ومعاييره الاساسية.

يمر قطرنا اليوم كما سائر أقطارنا العربية بمرحلة تحول نحو حياة متطورة. ولسنا أحوج في أية فترة من حاجتنا في الفترة الحالية لترسيخ أسس التقنية الصحيحة لدعم الجهود المبذولة في سبيل تحقيق التحول المنشود والنهوض بالمجتمع في شتى المرافق. ولا ريب في أن مشاكل الثروة المائية والتحكم بها تعتبر من أكثر المواضيع أهمية بالنسبة لامتنا العربية كما لسائر أمم العالم اليوم ولمدى أكبر في المستقبل القريب.

آمل أن يضيف هذا العمل لبنة جديدة في بناء المكتبة العلمية العربية وأن يحقق لطلابنا الأعزاء ما نرجوه لهم من فائدة تسهم في اغناء شخصيتهم العلمية والله من وراء القصد.

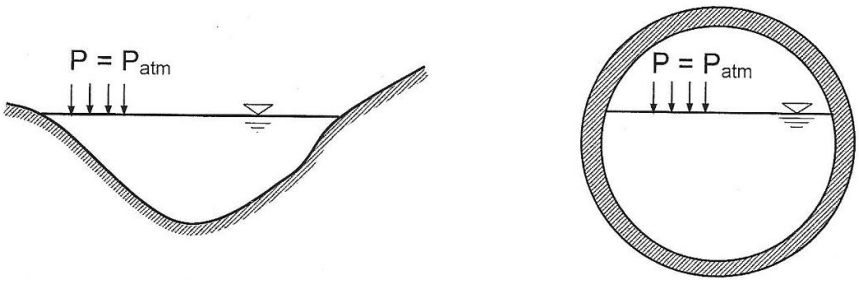
حلب 2013م

المؤلف

الفصل الأول
المبادئ الأساسية للجريان في الأقنية المكشوفة

1-1 مقدمة:

الأقنية المكشوفة هي نواقل مائية يكون فيها السطح الحر للماء معرضاً للضغط الجوي الشكل (1-1). أي أن الماء أثناء جريانه في هذه الأقنية يخضع لتأثير الضغط الجوي فقط وفيها تكون القوة المسببة للجريان هي مركبة وزن السائل المحمولة باتجاه الحركة.



الشكل (1-1) تعريف الأقنية المكشوفة

وقد تكون القناة مغطاة، كالنفق في منطقة جبلية مثلاً أو شبكات الصرف الصحي، غير أن الماء يجب أن لا يملأ القناة تماماً كي لا يعلو الضغط فوق الضغط الجوي، وإلا يصبح النفق عندئذ أنبوباً تجري فيه المياه تحت الضغط، وقد تكون القناة المكشوفة ذات مقطع منتظم كأقنية الري وشبكات الصرف في المدن أو قد تكون ذات مقطع غير منتظم كالأنهار.

وتستخدم هذه الأقنية لأغراض مختلفة على سبيل المثال لا الحصر:

- أقنية الري: التي تؤمن إيصال المياه إلى المزروعات في الحقول.
- أقنية مياه الصرف: التي تؤمن إيصال مياه الصرف إلى محطات المعالجة.
- أقنية المحطات الكهربائية: التي تؤمن إيصال المياه إلى عنفات المحطات الكهربائية.

يتشابه الجريان في الأقنية المكشوفة في عدة خواص مع الجريان المضغوط " الذي تمت دراسته في الجزء الأول من ميكانيك الموائع".

ولكن ما هي الفروقات بين الأقنية المكشوفة والمضغوطة؟

1- في حالة الجريان المضغوط يكون أي مقطع جريان محدد بمحيط صلب من جميع النواحي، أما في حالة الجريان المكشوف فيكون هناك دائماً سطح حر.

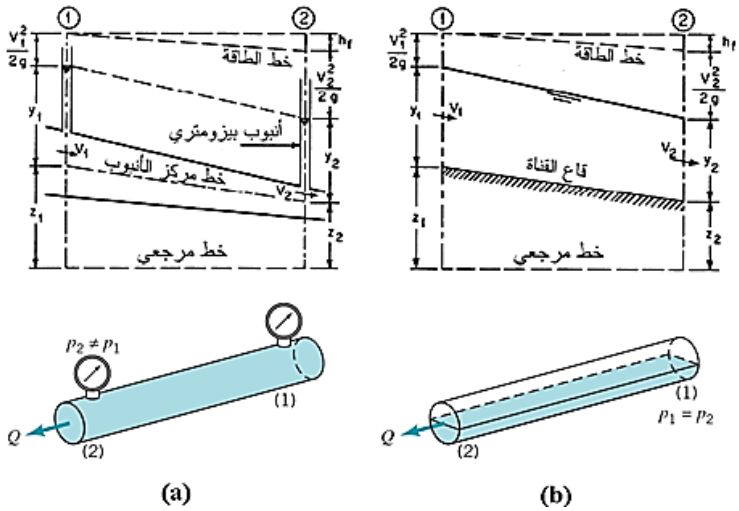
2- في الأقنية المضغوطة يكون الضغط عند أي نقطة على طول المجرى إما أكبر أو أقل من الضغط الجوي، وفي بعض الأحيان يتساوى الضغط عند نقطة ما على امتداد الجريان مع الضغط الجوي مثل حالة الجريان خلال أنبوب سيفون. أما المجاري المفتوحة فيكون الضغط عند أي نقطة على السطح الحر دائماً مساوياً للضغط الجوي.

3- في حالة الأقنية الترابية أو الأنهار توجد قابلية لتحرك المادة المكونة للجدران أو القاع بتأثير الجريان أو تتغير حالة السطح من مصقولة إلى خشنة بينما تتغير خشونة الأنابيب المضغوطة الداخلية من أنبوب جديد إلى أنبوب متآكل أو قديم بالإضافة لذلك تتغير خشونة الأقنية المكشوفة مع وضع السطح الحر لذلك فإن اختبار أمثال الاحتكاك للأقنية المكشوفة يكون أقل دقة من حالة الأنابيب المضغوطة.

4- في الأقنية المكشوفة يكون مقطع المجرى المائي بأي شكل كان من الشكل الدائري إلى الشكل غير المنتظم للأنهار الطبيعية بينما يكون المقطع في الأقنية المضغوطة بصورة عامة دائرياً.

يعطي الشكل (1-2) مقارنة بين النوعين من الجريان حيث نرى على الشكل (a) الجريان في أنبوب وقد غرس أنبوبان بيزومتريان في المقطعين (1) و(2).

يرتفع الماء في الأنابيب البيزومترية بسبب الضغط في الأنبوب الرئيسي إلى مستوى ندعوه الخط البيزومتري حيث يمثل الارتفاع y بين مستوى الماء في الأنبوب البيزومتري ومركز المقطع ضغط الماء في هذا المقطع. يمثل مجموع ارتفاع مركز المقطع للأنبوب عن مستوي المقارنة z والارتفاع البيزومتري (piezometric height) $y = \frac{P}{\gamma}$ وارتفاع السرعة (velocity head) $\frac{V^2}{2g}$ القدرة الكلية في وحدة وزن الماء المار في المقطع ونسميها الحمولة (H)



الشكل (1-2) (a) الجريان في الأقنية المضغوطة، (b) الجريان في الأقنية المكشوفة

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} \qquad (1\text{-}1)$$

والخط الواصل بين مختلف الارتفاعات H يدعى خط القدرة أو خط الحمولة (Energy. Line) والقدرة الضائعة لدى جريان الماء من المقطع (1) إلى المقطع (2) تمثل بالارتفاع h_f حيث في حالة أنبوب أسطواني:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2.g} \qquad (2\text{-}1)$$

يعطي الشكل (b) تمثيلاً متشابهاً من أجل الجريان في الأقنية المكشوفة حيث اعتبرنا للسهولة أن خطوط التيار متوازية والسرعة منتظمة التوزيع في المقطع وميل القناة ضعيف، في هذه الحالة يكون الخط البيزومتري منطبقاً على سطح الماء.

رغم وجود تشابه بين النوعين من الجريان فإن حل مسائل الجريان في الأقنية المكشوفة أكثر صعوبة من حالة الجريان في الأنابيب المضغوطة. إذ أن شروط الجريان في الأقنية المكشوفة تكون معقدة بسبب تغير وضع السطح الحر تبعاً للزمن والمكان ولأن عمق الماء والتدفق وميول أرضية القناة وسطح الماء متعلقة ببعضها البعض.

نتيجة لتعدد أنواع الأقنية المكشوفة وأشكالها، كذلك نتيجة لتأثير السطح الحر على الجريان وقابلية مادة الجريان والقاع للحركة في حالة الأقنية الترابية، فإن معالجة الجريان في الأقنية المكشوفة بالطرق التقليدية يكون من الصعوبة بمكان. لكي نسهل من هذه

الصعوبة سوف نقسم الأقنية المكشوفة إلى أقسام تبعاً لأساس تكوينها– نوع المحيط المحدد لها– شكلها– انتظامها مع المسافة، ومن ثم يمكن إجراء دراسة لكل نوع على حدة.

في نفس الوقت سوف نضطر خلال دراستنا للجريان المكشوف إلى استخدام قوانين تجريبية (Empirical Formulae) ولكن يجب الأخذ بالاعتبار أن مثل هذه القوانين تكون صالحة للاستعمال في إطار الفروض والحدود التي استنتجت على أساسها.

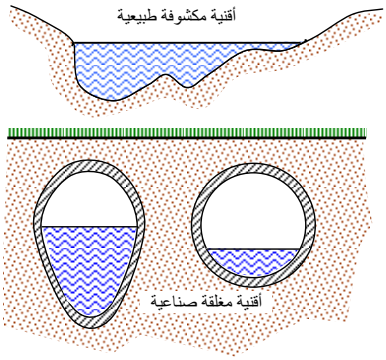
2-1 أنواع الأقنية المكشوفة:

تنقسم الأقنية المكشوفة إلى أنواع عديدة وذلك تبعاً لوجهة النظر التي يتم على أساسها ذلك التقسيم كالآتي:

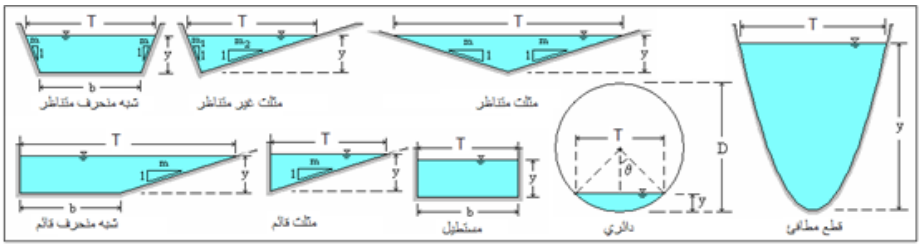
a) تبعاً للمنشأ:

1- أقنية طبيعية: Natural open channels

2- أقنية مكشوفة صناعية: Artificial open channels



الأقنية المكشوفة الطبيعية تشمل تلك الأقنية التي وجدت طبيعياً على سطح الأرض ولم يقم بحفرها الإنسان، مثل الأنهار صغيرة كانت أم كبيرة، كما يمكن كذلك معالجة الجريان الجوفي ذو السطح الحر كأقنية مكشوفة طبيعية انظر الشكل (1-3).



الشكل (1-3) أنواع الاقنية المكشوفة

تتميز هذه الأقنية بعدم انتظام خواصها الهيدروليكية وتتطلب عند دراستها الإلمام بمجالات أخرى بجانب الهيدروليك مثل الهيدرولوجيا وحركة الرواسب. ويسمى هذا النوع

من الهيدروليك والذي يعالج الجريان في الأقنية الطبيعية بهيدروليك الأنهار River Hydraulics.

الأقنية المكشوفة الصناعية تشمل الأقنية التي قام بحفرها أو إنشائها الإنسان وتشمل قنوات الري– المصارف المفتوحة والمغطاة– أقنية الصرف الصحي– الأقنية الملاحية الخ.

وذلك بالإضافة إلى الأقنية التي يتم إنشاؤها في المعامل لدراسة بعض المشاكل الهيدروليكية عليها. وتكون الخواص الهيدروليكية لهذه الأقنية واضحة ومحددة.

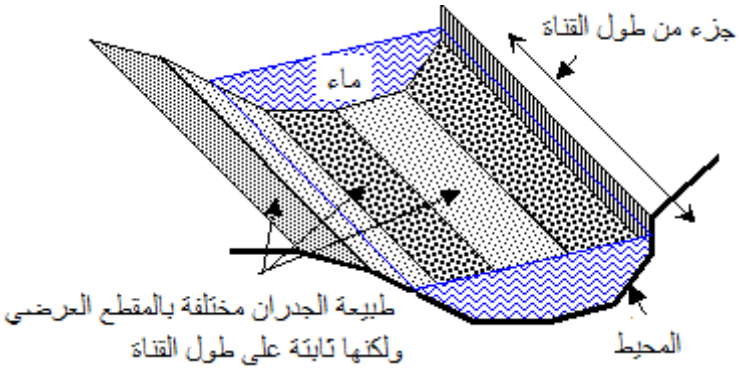
b) تنقسم الأقنية المكشوفة تبعاً لنوع المحيط المحدد لها إلى:

1- أقنية مكشوفة ذات محيط صلب open channels with rigid boundaries

2- أقنية مكشوفة ذات محيط قابل للتآكل open channels with erodible boundaries

وتنقسم تلك بدورها إلى نوعين:

- أقنية رسوبية.
- أقنية ذات حشائش.



الشكل (1-4)

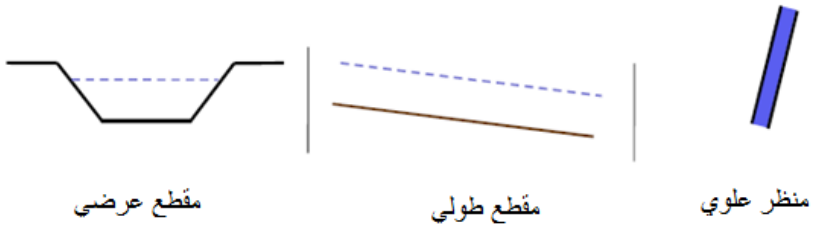
c) تنقسم الأقنية المكشوفة تبعاً لشكلها الهندسي إلى أقسام عديدة. الأقنية الطبيعية عادةً ما يكون مقطعها غير منتظم، الشكل (1-3) يبين مقطع عرضي لمجرى طبيعي. أما الأقنية الصناعية فتأخذ أشكالاً هندسية عديدة، الشكل (1-3) يبين مجموعة من تلك الأشكال والتي سوف نتعرض لها بالدراسة.

عادةً ما تنشأ الأقنية المكشوفة الصناعية على شكل مقطع شبه منحرف حيث ميل الجوانب ($\cot\theta$) تؤخذ قيمته (2/1 أو 3/2 أو 1/1) وذلك تبعاً للعمق ونوع مادة الجوانب. القنوات المبطنة Pined Channels تنشأ بأي شكل مناسب تقتضيه المتطلبات العملية.

d) يمكن أن تنقسم الأقنية المكشوفة تبعاً لانتظامها إلى:

- أقنية منتظمة موشورية Prismatic channels

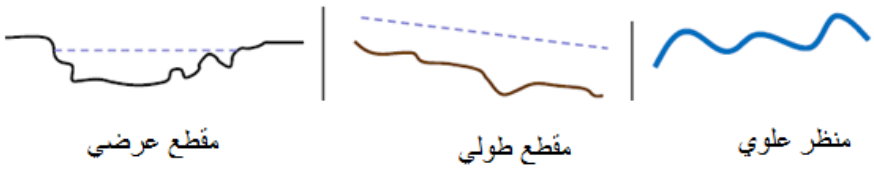
الأقنية المنتظمة هي تلك التي لا يتغير الشكل الهندسي لمقطعها كذلك ميل القاع لها مع المسافة الشكل (1-5).



الشكل (1-5) أقنية منتظمة موشورية

- أقنية غير منتظمة Nonprismatic channels

الأقنية غير المنتظمة هي تلك التي يتغير الشكل الهندسي للمقطع أو ميل القاع مع المسافة الشكل (1-6).

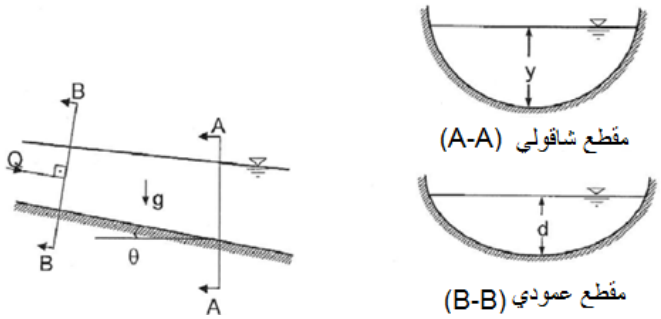


الشكل (1-6) أقنية غير منتظمة

في الدراسة الحالية سوف نتناول فقط بالدراسة الجريان في الأقنية المكشوفة الصناعية المنتظمة Artificial Prismatic channels.

1-3 تعاريف أساسية:

المقطع المائي A: يعرف المقطع المائي لقناة مكشوفة بأنه المقطع الناتج عن قطع القناة عمودياً باتجاه الجريان والمحدد بالجدران الصلبة والسطح الحر الشكل (1-7).



الشكل (1-7) المقطع المائي لقناة مكشوفة

المحيط المبلول P: يعرف المحيط المبلول بالمحيط الذي يتبع الجدران الصلبة المحدودة بجريان الماء دون السطح الحر الشكل (1-8).

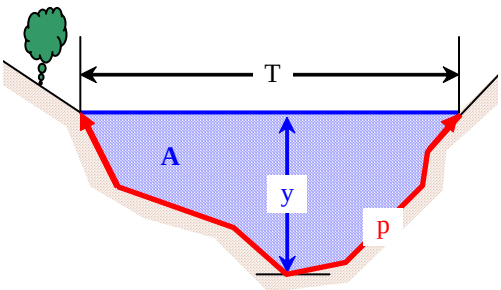
نصف القطر الهيدروليكي R_h: يعرف نصف القطر الهيدروليكي للقناة المكشوفة بأنه النسبة بين المقطع المائي A والمحيط المبلول P الشكل (1-8) أي:

$$R_h = \frac{A}{P} \qquad (3\text{-}1)$$

العمق الهيدروليكي y_m: يعرف العمق الهيدروليكي في الأقنية المكشوفة بالعمق الوسطي للجريان ويساوي إلى نسبة المقطع المائيA إلى عرض السطح الحر T أي:

$$y_m = \frac{A}{T} \qquad (4\text{-}1)$$

يبين الشكل (1-8) مختلف التعاريف الاساسية



الشكل (1-8) التعاريف الاساسية في الأقنية المكشوفة

1-3-1 المقاطع العرضية في الأقنية وعناصرها الهيدروليكية:

يمكن أن نصادف أثناء دراستنا الهيدروليكية أشكالاً ونماذج متعددة للمقاطع العرضية للأقنية، سوف نورد الآن أهم هذه النماذج مع كيفية تحديد عناصرها الهيدروليكية، ويقصد بالعناصر الهيدروليكية للمقطع العرضي التالي:

A: سطح المقطع المائي.

P: المحيط المبلول.

R_h: نصف القطر الهيدروليكي.

1) مقطع شبه منحرف:

يعتبر المقطع العرضي شبه المنحرف من أكثر الأشكال الهندسية المستعملة في الأقنية المكشوفة لسهولة تنفيذه والشكل (1-9) يوضح أبعاد هذا المقطع:

لنعتمد الرموز التالية:

b: عرض قاعدة القناة من الأسفل.

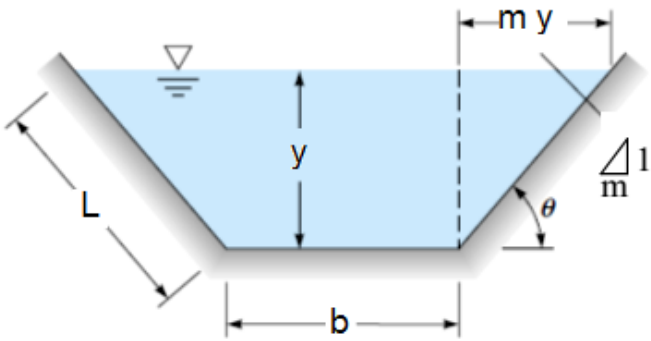
y: عمق الماء في القناة.

m: ميل جانب القناة ويساوي $m=ctg\theta$

θ : زاوية ميل جانب القناة.

T: عرض القناة من الأعلى المقابل للعمق y

ومن الشكل (1-9) نجد أن:



الشكل (1-8) المقطع العرضي لقناة شبه المنحرف

$$T = b + 2y\,ctg\theta = b + 2y\,m$$

$$A = (b+T)\frac{y}{2} = (b+b+2y\,m)\frac{y}{2}$$

$$A = (b + m\,y)\,y \qquad (4\text{-}1)$$

$$P = b + 2\frac{y}{\sin\theta}$$

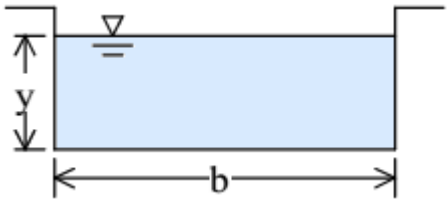
$$\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{1+ctg^2\theta}}$$

$$P = b + 2\,y\sqrt{1+m^2} \qquad (5\text{-}1)$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{(b+my)y}{b+2\,y\sqrt{1+m^2}} \qquad (6\text{-}1)$$

2) مقطع مستطيل:

يبين الشكل (1-10) قناة مكشوفة ذات مقطع مستطيل في هذه الحالة يكون:



الشكل (1-10) المقطع العرضي لقناة مستطيل

$$b = T$$

$$m = ctg\theta = ctg90 = 0$$

فيكون:

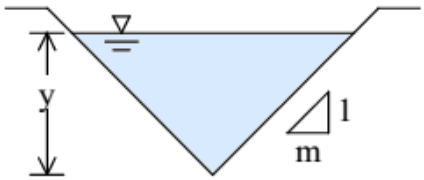
$$A = b\,y$$

$$P = b + 2\,y \qquad (7\text{-}1)$$

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

3) مقطع مثلثي:

يبين الشكل (1-11) قناة مكشوفة ذات مقطع مثلثي في هذه الحالة



الشكل (1-11) المقطع العرضي لقناة مثلثية

$$b = 0$$

$$T = 2\,m\,y$$

$$A = m\,y^2 \qquad (8\text{-}1)$$

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

$$R_h = \frac{m\,y}{2\sqrt{1+m^2}}$$

كما يمكن أن نصادف نماذج أخرى من المقاطع العرضية للأقنية، حيث لا تملك هذه النماذج أشكالاً هندسية محددة، كما في الشكل (1-3):

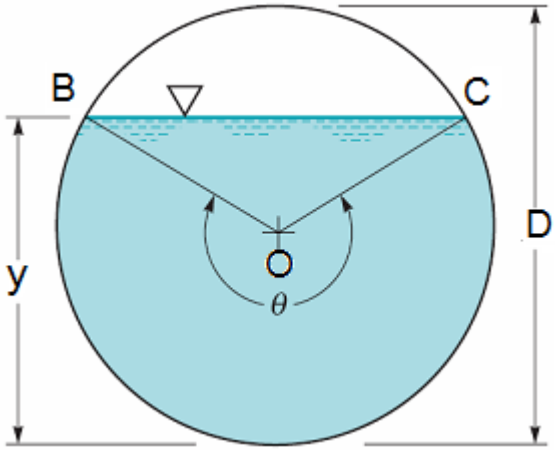
في هذه الحالة نقسم المقطع العرضي إلى عدة أجزاء لها أشكال هندسية محددة، ثم نحدد بعد ذلك سطح المقطع المائي والمحيط المبلول ونصف القطر الهيدروليكي للمقطع بكامله.

كما يمكن أن نصادف أقنية مغلقة، هذه النماذج من الأقنية التي تستخدم بشكل واسع في إيصال المياه إلى عنفات المحطات الكهربائية وفي شبكات الصرف الصحي وتصريف مياه الأمطار ومجالات أخرى.

وتحسب من الناحية الهيدروليكية كأقنية مكشوفة نحدد في كل حالة من الحالات سطح المقطع المائي. والمحيط المبلول وبالتالي نصف القطر الهيدروليكي وذلك حسب شكل المقطع وحسب نسبة الامتلاء بالماء ولنأخذ مثالاً على ذلك المقطع الدائري.

4) المقطع الدائري:

يبين الشكل (1-12) العناصر الأساسية اللازمة للتصميم الهيدروليكي كما يلي:



الشكل (1-12) المقطع العرضي لقناة دائرية

$$A = \overset{\cup}{OBC} + \overset{\Delta}{OBC}$$

$$A = \pi r^2 \frac{\theta}{2\pi} + \frac{1}{2} r^2 \sin(2\pi - \theta)$$

$$A = \pi r^2 \frac{\theta}{2\pi} - \frac{1}{2} r^2 \sin\theta$$

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) \qquad (9\text{-}1)$$

المحيط المبلول:

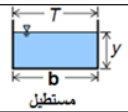
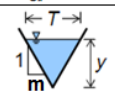
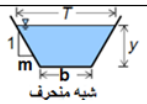
$$P = r\,\theta \qquad (10\text{-}1)$$

نصف القطر الهيدروليكي:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{r\,(\theta - \sin\theta)}{2\,\theta} \qquad (11\text{-}1)$$

يبين الجدول (1-1) خصائص المقاطع الهندسية الأكثر استعمالاً

الجدول (1-1) خصائص المقاطع الهندسية

شكل المقطع الهندسي	المقطع المائي A	المحيط المبلول P	نصف القطر الهيدروليكي R_h	عرض السطح الحر T
 مستطيل	$A = b\,y$	$P = b + 2\,y$	$R_h = \frac{b\,y}{b + 2\,y}$	$T = b$
 مثلث	$A = m\,y^2$	$P = 2\,y\sqrt{1+m^2}$	$R_h = \frac{m\,y}{2\sqrt{1+m^2}}$	$T = 2\,m\,y$
 شبه منحرف	$A = (b + m\,y)\,y$	$P = b + 2\,y\sqrt{1+m^2}$	$R_h = \frac{(b + my)y}{b + 2\,y\sqrt{1+m^2}}$	$T = b + 2y\,m$
 دائري	$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta)$	$P = r\,\theta$	$R_h = \frac{r\,(\theta - \sin\theta)}{2\,\theta}$	$T = 2\,r\sin\frac{\theta}{2}$

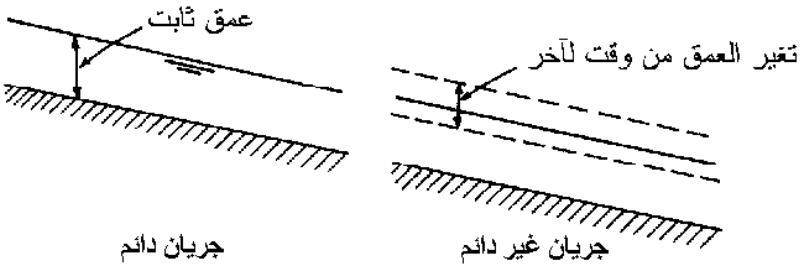
4-1 تصنيف الجريانات في الأقنية المكشوفة:

يصنف الجريان تبعاً لتغير عمق الجريان مع الزمن والمسافة في الأقنية المكشوفة إلى الأنواع التالية:

1-4-1 الجريان الدائم والجريان غير الدائم Steady and Unsteady Flow

يقال عن الجريان في الأقنية المكشوفة أنه دائم إذا كان عمق الجريان والسرعة غير متغير أو إذا أمكن اعتباره ثابتاً خلال الفترة الزمنية المعتبرة والجريان يكون غير دائم إذا تغير العمق مع الزمن الشكل (13-1). في أكثر الحالات يدرس الجريان في الحالة الدائمة. ولكن إذا كان تغير شروط الجريان مع الزمن ذا أهمية فتدرس الحالة غير الدائمة، ففي حالة

الفيضان مثلاً يتغير منسوب الماء بسرعة مع الزمن ودراسة حركة موجة الفيضان تكون ذات أهمية كبيرة لتصميم منشآت التحكم.



الشكل (1-13) الجريان الدائم والجريان غير الدائم

مهما كان نوع الجريان فإن التدفق في مقطع القناة يعطى بالعلاقة:

$$Q = A\,V \qquad (12\text{-}1)$$

حيث:

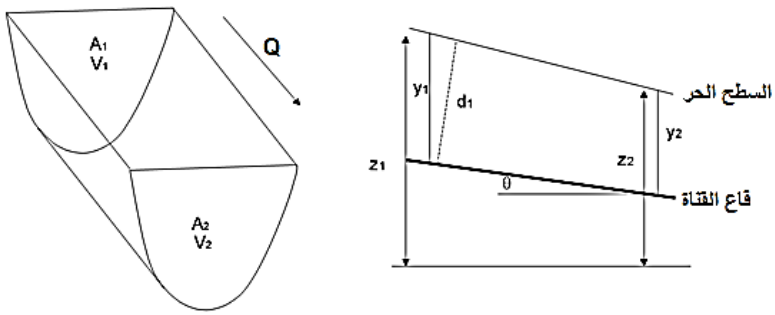
V: السرعة الوسطية للجريان.

A: مقطع الجريان المعامد لاتجاه الجريان.

في أكثر مسائل الجريان الدائم يكون التدفق ثابتاً على طول القسم المعتبر من القناة أي أن الجريان مستمر وبالتالي فإن المعادلة (1-12) تصبح:

$$Q = A_1\,V_1 = A_2\,V_2 \qquad (13\text{-}1)$$

وتمثل معادلة الاستمرار في الجريان الدائم المستمر الشكل (1-14).



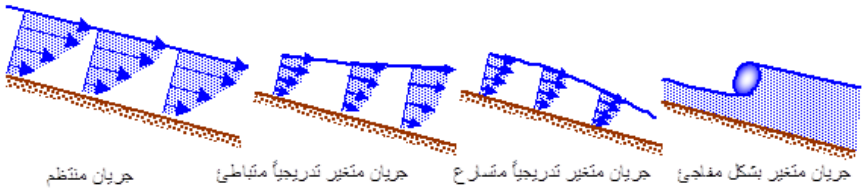
الشكل (1-14) معادلة الاستمرار في الجريان الدائم المستمر

1-4-2 الجريان المنتظم والجريان المتغير بالنسبة للمسافة

Uniform and Varied Flow

يقال عن الجريان في الأقنية المكشوفة إنه منتظم إذا كان عمق الماء والسرعة في جميع مقاطع القناة الموشورية ثابتاً.

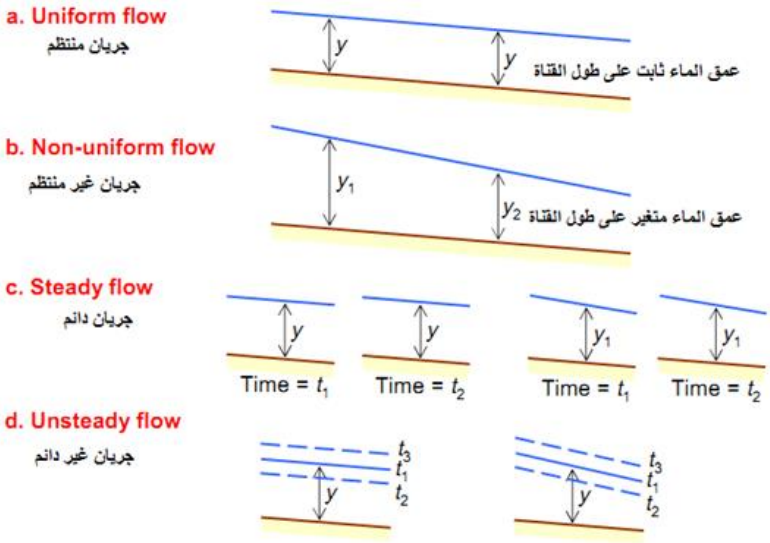
يمكن أن يكون الجريان المنتظم دائماً أو غير دائم حسب كون العمق يتغير أو لا يتغير مع الزمن الشكل (1-15).



الشكل (1-15) الجريان المنتظم والجريان المتغير

إن الجريان الدائم المنتظم هو النوع الأساسي للجريان الذي يدرس في الأقنية المكشوفة ويكون فيه عمق الماء ثابتاً خلال الفترة الزمنية المعتبرة. أما الجريان غير الدائم والمنتظم فيحتوي على سطح ماء يتغير وصفه من حين لآخر مع بقائه موازياً لأرضية القناة. من الواضح أن هذا الشرط صعب التحقيق لذلك يقصد عادةً بكلمة "جريان منتظم" الجريان الدائم المنتظم.

يكون الجريان متغيراً إذا تغير عمق الماء على طول القناة ويمكن أن يكون الجريان المتغير دائماً أو غير دائم، وبما أنه من النادر الحصول على جريان غير دائم ومنتظم فإن عبارة "جريان غير دائم" تستخدم فقط للجريان المتغير غير الدائم يبين الشكل (1-16) تصنيف الجريان.

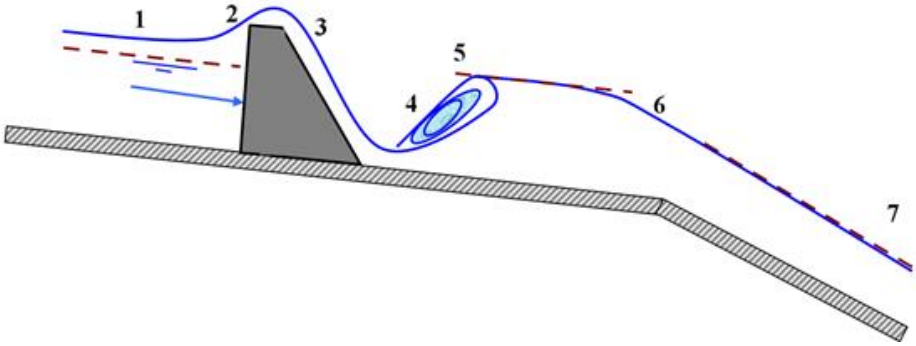


الشكل (1-16) تصنيف الجريان

ويمكن تصنيف الجريان المتغير أيضاً إلى جريان متغير تدريجياً وجريان متغير بسرعة. ويكون الجريان متغيراً بسرعة إذا تغير عمق الماء بقيمة كبيرة على مسافة صغيرة كما هو الأمر في حالة القفزة المائية والسقوط.

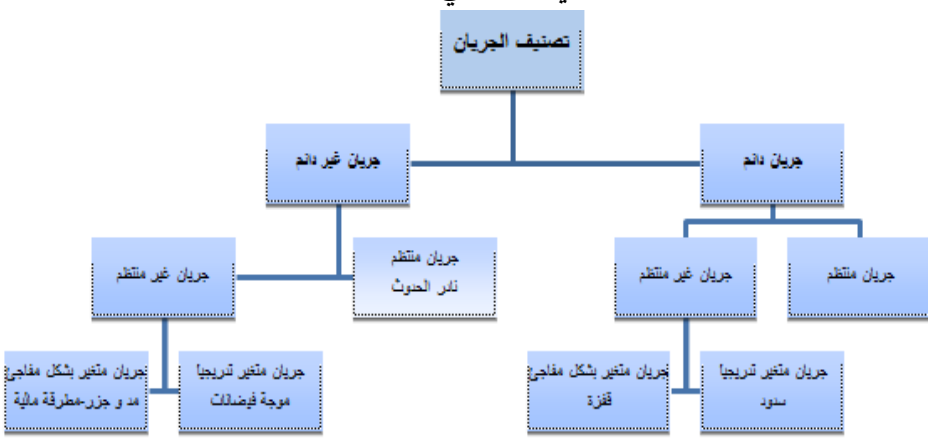
يبين الشكل (1-17) الأنواع المتعددة للجريان في الأقنية المكشوفة وهي على الشكل التالي:

1) جريان منتظم نهري.
2) جريان نهري متغير بشكل تدريجي صاعد.
3) جريان شلالي متسارع بشكل تدريجي.
4) متغير بشكل مفاجئ – قفزة مائية.
5) جريان منتظم شلالي.



الشكل (1-17) الأنواع المتعددة للجريان في الأقنية المكشوفة

يمكن تلخيص تصنيف الجريان كما يلي:



1-5- نظام الجريان

يتحكم بنظام الجريان في الأقنية المكشوفة القوى التالية:

1- قوى الثقالة.

2- قوى الاحتكاك (اللزوجة).

بالنسبة لقوى العطالة للجريان حسب أهمية تأثير اللزوجة بالنسبة للعطالة يمكن أن يكون الجريان صفحياً أو مضطرباً أو انتقالياً ويصنف برقم رينولدس

$$Re = \frac{V\,R_h}{\nu} \qquad (14\text{-}1)$$

V: السرعة الوسطية للجريان.

R_h : نصف القطر الهيدروليكي.

ν : اللزوجة الحركية.

يعتبر الجريان:

صفحياً	$R_e \le 300$
انتقالياً	$300 < R_e < 500$
مضطرباً	$R_e > 500$

ولما كانت الجريانات ذات السطح الحر غالباً مضطربة فإننا نادراً ما نفتش عن تأثير عدد رينولدس. إلا أنه في حالات خاصة مثلاً عندما تكون سرع الجريان صغيرة، أو عندما يكون السائل الجاري شديد اللزوجة، أو في حالة الجريانات السطحية (على مساحات واسعة من الأرض) بأعماق صغيرة الخ. فإنه يجب حتماً التحقق من معرفة نظام الجريان من حيث الاضطراب لنتمكن من تطبيق القانون المناسب للحالة المدروسة.

أما من حيث تأثير الثقالة فيعبر عنها بنسبة قوى العطالة إلى قوى الثقالة وتعطى هذه النسبة بعدد فرود:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}} \qquad (15\text{-}1)$$

V: سرعة الجريان.

y_m : العمق الهيدروليكي.

ونظراً لأهمية تأثير الثقالة على الجريان المكشوف فإن لهذا العدد الأهمية الأساسية في تحديد نظام الجريان:

- يكون الجريان نهرياً (fluvial) أو دون الحرج (subcritical flow) عندما $F_r < 1$.
- يكون الجريان شلالياً (torrential) أو فوق الحرج (supercritical flow) عندما $F_r > 1$.
- وإذا كان $F_r = 1$ فإن الجريان يكون حرجاً (critical flow).

6-1 توزع السرعة في الأقنية المكشوفة:

بسبب وجود سطح حر للجريان، كذلك بسبب الاحتكاك بين كتلة الجريان المتحرك وبين قاع وجدران القناة فإن توزيع السرعات في أي مقطع جريان يكون توزيعاً غير منتظماً.

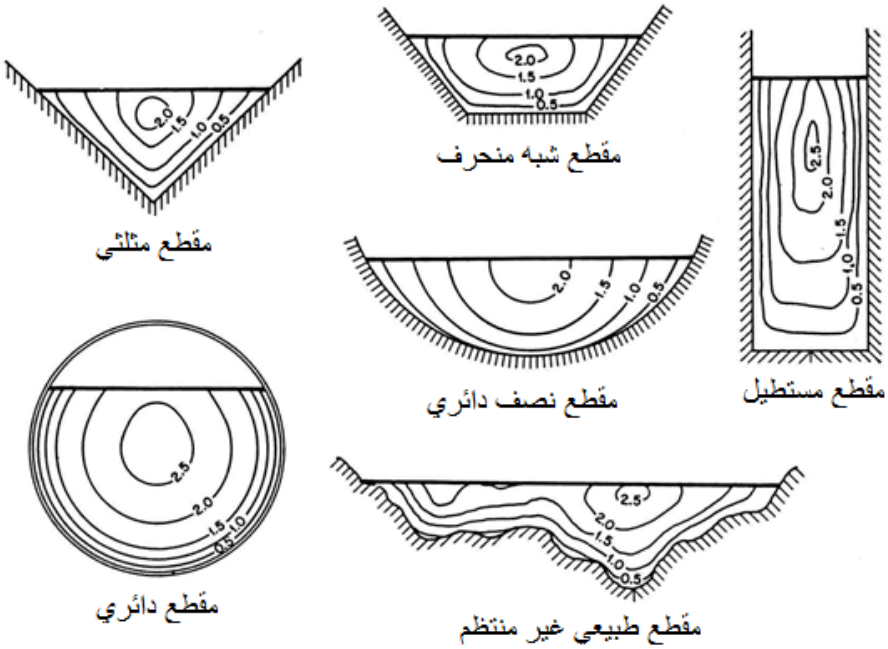
في مقطع جريان لقناة مفتوحة تكون السرعات قيمتها كبيرة على الخط الشاقولي المار بمنتصف المقطع (محور التماثل) وتقل كلما اتجهنا إلى الجوانب. على أي خط رأسي في مقطع الجريان في قناة مكشوفة، تحدث أقصى قيمة للسرعة (V_{max}) تحت السطح الحر بمسافة تتراوح بين $0.05y \rightarrow 0.25y$ حيث y هو عمق الجريان في ذلك المقطع، مع ملاحظة أن عمق موضع السرعة القصوى تحت السطح الحر يزيد بنقصان عرض القناة.

الشكل (1-18) يوضح توزيع السرعات في مقاطع جريان مختلفة الشكل وذلك بدلالة خطوط تساوي السرع.

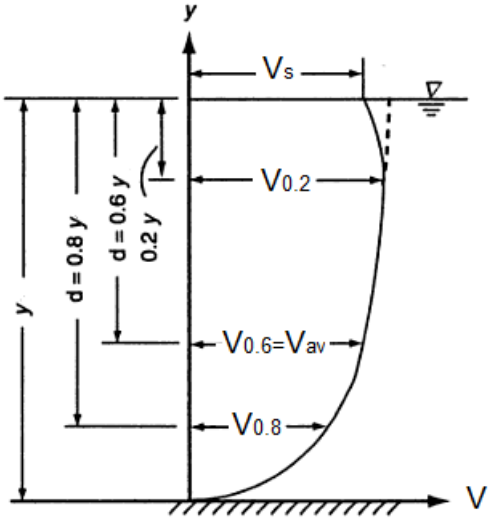
حيث نلاحظ أن السرعة تكون قليلة بالقرب من الجدران وقيمتها صفراً عنده، وتزداد هذه القيمة باقترابها نحو المركز. واستناداً لهذا فإن السرعة القصوى سوف تكون في الوسط وعلى سطح الماء، وبسبب وجود الشد السطحي فإن السرعة القصوى تنخفض إلى الأسفل كما ذكرنا بمسافة معينة تعتمد على شكل مقطع القناة يبين الشكل (1-19) منحني توزع السرعة.

وكا نرى أن منحني السرعة يتغير مع العمق ولابد من اعتماد سرعة تقريبية تعتمد على شكل مقطع القناة وخشونة جدرانه لتكون:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \qquad (16\text{-}1)$$



الشكل (1-18) توزيع السرعات في مقاطع جريان مختلفة الشكل



الشكل (1-19) منحني توزع السرعة

يعتمد توزيع السرعات في مقطع جريان لقناة مكشوفة على:

1- التغيرات الغير المنتظمة في مقطع الجريان.

2- خشونة جوانب القناة وقاعها.

3- وجود منحنيات في المسقط الأفقي للقناة.

فمثلاً نجد أن زيادة خشونة قاع القناة بسبب زيادة انحناء منحني توزيع السرعة في المستوى الشاقولي كما هو موضح بالشكل (-20 1).

الشكل (1-20)

وضحت التجارب أنه في الأقنية المكشوفة المنحنية الشكل في المسقط الأفقي، يكون الجريان في منطقة الانحناء لولبياً كما يؤثر على توزيع السرعات في مقاطع الجريان، ويجب أخذ ذلك في الاعتبار عند تصميم هذه الأجزاء.

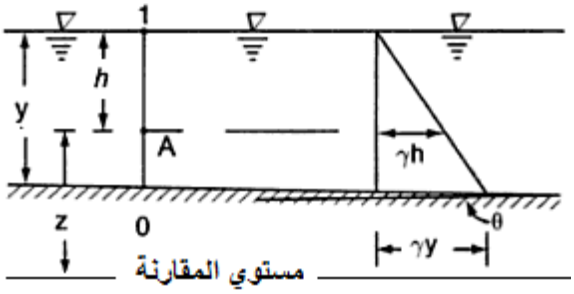
كما وضحت التجارب والملاحظات أيضاً أنه لحالة قناة مكشوفة عريضة – وتعتبر القناة عريضة إذا كان $(b > 10y)$ يكون توزيع السرعات في المنطقة الوسطى لمقطع الجريان متشابه على الخطوط الشاقولية المختلفة. على ذلك يمكن اعتبار توزيع السرعات في هذه المنطقة كما لو كانت الأقنية ذات عرض لا نهائي وينعدم فيها تأثير الجوانب على توزيع السرعة.

1-7- توزيع الضغط في مقطع جريان كقناة مكشوفة:

يمكن قياس الضغط في أية نقطة من مقطع الجريان في قناة ذات ميل ضعيف بارتفاع عمود الماء في أنبوب بيزومتري مغروس في تللك النقطة الشكل (1-21) والشكل (a-1-22) بإهمال الاهتزاز الناتج عن الاضطراب من الواضح أن عمود الماء هذا يجب أن يرتفع من النقطة المعتبرة إلى الخط البيزومتري أو إلى سطح الماء وبالتالي فإن الضغط في كل نقطة من المقطع يتناسب طرداً مع عمق النقطة أسفل السطح الحر ويساوي إلى الضغط الهيدروستاتيكي الموافق لهذا العمق،. بعبارة أخرى يكون توزيع الضغط في مقطع القناة كتوزيع الضغط الهيدروستاتيكي أي أنه خطي.

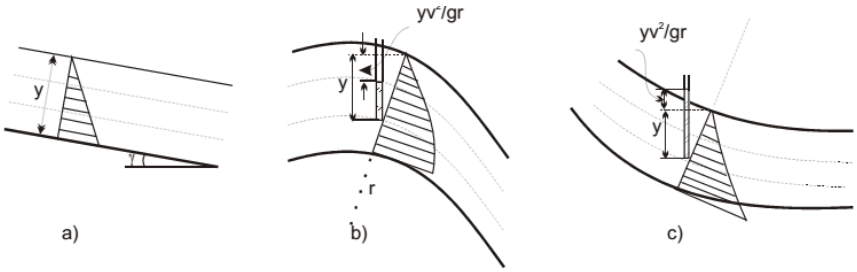
إن قانون الهيدروستاتيك لتوزيع الضغط في مقطع جريان يصلح فقط عندما تكون خطوط الجريان بدون مركبة تسارع في مستوى المقطع، يسمى هذا النوع من الجريان بالجريان المتوازي أي تكون خطوط التيار بدون انحناء ولا تباعد وبالتالي لا يوجد تسارع

محسوس عمودياً على اتجاه الجريان يمكنه تغيير التوزيع الهيدروستاتيكي للضغط في المقطع.



الشكل (1-21) توزيع الضغط في مقطع القناة المكشوفة لجريان منتظم

عملياً يكون الجريان المنتظم عادةً جرياناً متوازياً، كما أن الجريان المتغير تدريجياً يمكن اعتباره جريان متوازي لأن التغير بالعمق صغير لدرجة أن خطوط التيار لا تحوي على تباعد أو انحناء محسوس. لذلك ولاعتبارات عملية نطبق قانون التوزيع الهيدروستاتيكي على الجريان المتغير تدريجياً كما نطبقه على الجريان المنتظم.



الشكل (1-22)

a) تأثير انحناء خطوط التيار على توزيع الضغط:

إذا كانت خطوط التيار منحنية في المستوى الشاقولي يسمى الجريان في هذه الحالة بالجريان المنحني، يسبب هذا الانحناء وجود مركبة تسارع عمودية على اتجاه الجريان (قوة نابذة) وهذا بدوره يسبب اختلاف توزيع الضغط عن التوزيع الهيدروستاتيكي.

يبين الشكل (1-22) توزيع الضغوط في حالة جريان منحني إذا كان الجريان:

1- جريان محدب convex flow

2- جريان مقعر concave flow

في حالة الجريان المحدب الشكل (22-1-b) تؤثر القوى النابذة للأعلى بعكس اتجاه قوى الجاذبية وعلى ذلك يقل الضغط عند أي نقطة عن ذلك المحسوب من قانون توزيع الضغوط الهيدروستاتيكية. قيمة الضغط في هذه الحالة عند نقطة تقع على عمق h تحت السطح الحر يكون مقداره

$$P = \rho\, h\, (g - \frac{V^2}{r}) = \gamma\, h\, (1 - \frac{V^2}{g\, r}) \qquad (17\text{-}1)$$

حيث:

V: سرعة الجريان.

r: نصف قطر التقوس لخط التيار عند النقطة التي يحسب عندها الضغط.

في حالة الجريان المقعر الشكل (22-1-c) تؤثر القوى النابذة للداخل أي في اتجاه قوى الجاذبية وعلى ذلك تزيد قيمة الضغط عند أي نقطة عن تلك المحسوبة من قانون توزيع الضغوط الهيدروستاتيكية. قيمة الضغط في هذه الحالة عند أي نقطة تقع على عمق h تحت السطح الحر يكون مقداره:

$$P = \rho\, h\, (g + \frac{V^2}{r}) = \gamma\, h\, (1 + \frac{V^2}{gr}) \qquad (18\text{-}1)$$

في حالة الجريان المتغير بسرعة يكون تغير العمق سريعاً لدرجة ظهور انحناءات كبيرة في خطوط الجريان، وبالتالي فإن تطبيق القانون الهيدروستاتيكي لتوزيع الضغط لا يصح بدقة كافية من أجل الجريان المتغير بسرعة.

b) تأثير الميل على توزيع الضغط:

في حالة الأقنية المكشوفة ذات الميل الكبير الشكل (23-1) لو وضعت أنبوبة بيزومترية عند نقطة في مقطع الجريان (1-1) مثلاً تقع تحت السطح الحر على عمق مقداره y فإن السطح داخل هذه الأنبوبة سوف يرتفع شاقولياً فوق هذه النقطة مسافة h أي أن الضغط عند هذه النقطة سوف يكون:

$$P = \gamma\, h \qquad (19\text{-}1)$$

ولكن

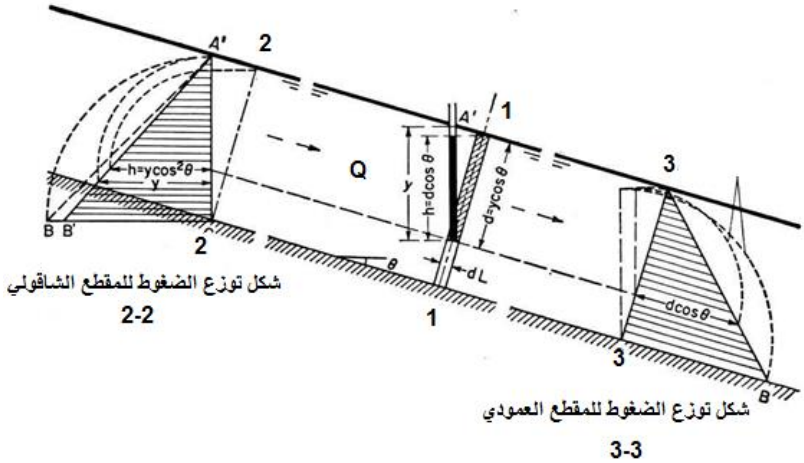
$$h = d \cos\theta \qquad (20\text{-}1)$$

$$d = y \cos\theta \qquad (21\text{-}1)$$

فيكون:

$$P = \gamma\, y \cos^2 \theta \qquad (22\text{-}1)$$

وذلك لأن توزيع الضغوط في مقطع الجريان العمودي يتبع قانون التوزيع الهيدروستاتيكي للضغوط.ويوضح الشكل أيضاً توزيع الضغوط لمقطعين أحدهما شاقولي (2-2) والآخر عمودي على قاع القاع (3-3).



الشكل (1-23) تأثير الميل على توزيع الضغط

على ذلك فإنه لحساب الضغط في مقطع شاقولي يستخدم معامل تصحيح مقداره $\cos^2 \theta$.

تعتبر الأقنية المكشوفة ذات ميل كبير إذا كان ميل القاع أكبر من $\frac{1}{10}$ حيث أنه إذا كان ميل القاع أصغر من هذه القيمة أي أن $\theta < 6^\circ$ فإنه يمكن إهمال معامل التصحيح، حيث سيكون الخطأ الناتج عن ذلك الفرض أقل من 1% ويقال في هذه الحالة أن القناة ذات ميل صغير.

في دراستنا في هذا المقرر، جميع الأقنية المكشوفة التي ستقابلنا تعتبر ذات ميل صغير وعلى ذلك سوف يهمل التصحيح المذكور سابقاً.

المصطلحات العلمية

انكليزي	عربي
B	
Basin	حوض
Bottom of Channel	أرضية القناة
Boundary Layer	الطبقة الحدية
C	
Canal, Channel	قناة
Caviation	تكهف
Clay	غضار
Continuous Flow	جريان مستمر
Contraction	رص
Control Section	مقطع التحكم
Conveyance	تدفق
Critical Depth	عمق حرج
Critical Discharge	تدفق حرج
Critical Discharge	تدفق حرج
Critical Slope	ميل حرج
Current	تيار
Curvature	انحناء
Curvature	انحناء
D	
Dam	سد
Density	كثافة
Diffuser, Draft, Tube	مباعد

انكليزي	عربي
Divergence	تباعد
E	
Efficiency	مردود
Energy Line	خط الحمولة
Energy Line	خط الحمولة
Energy Loss	ضياع حمولة
Excavation	اعمال الحفر
F	
Filling	أعمال الردم
Flood	فيضان
Flow	جريان
Fluid	مائع
Freeboard	ارتفاع حر
Freeboard	ارتفاع حر
Friction	احتكاك
Froud's Number	رقم فرود
G	
Gate	بوابة سكر
Gradient	تدارج
Gravel	بحص

انكليزي	عربي
Gravel	بحص
Gravity	ثقالة
H	
Head	حمولة
Hydraulic grade Line	الخط البيزومتري
Hydraulic Jump	قفزة هيدروليكية
Hydraulic Radius	نصف القطر الهيدروليكي
Incompressible	غير مضغوط
K	
Kinetic Energy	طاقة حركية
L	
Laminar Flow	جريان صفحي
Level	منسوب
Lining	تكسية
Liquid	سائل
Loss of Head	ضياع حمولة
M	
Momentum	كمية حركة
N	
Normal Depth	عمق نظامي

انكليزي	عربي
O	
Orifice	فتحة
P	
Pipe	أنبوب
Potential Energy	طاقة كامنة
Power	استطاعة
Pressure	ضغط
Probe	سابرة
R	
Reservoir	خزان
Reynolds Number	رقم رينولدز
Rugosity	خشونة
Run-Off	تصريف
S	
Sill	عتبة
Silt	طمي
Silt	طمي
Specific Energy	حمولة نوعية

انكليزي	عربي
Specific Mass	كتلة نوعية
Specific Weight	وزن نوعي
Stability	استقرار
Steady Flow	جريان دائم
Steep Slope	ميل شديد
Streamline	خط تيار
Subcritical Flow	جريان نهري (دون الحرج)
Subcritical Regime	نظام نهري
Suction-Tube	أنبوب سحب
Supercritical Flow	جريان شلالي (فوق الحرج)
Supercritical Regime	نظام شلالي
T	
Turbulence	اضطراب
Turbulent Flow	جريان مضطرب
U	
Uniform	منتظم
Uniform Flow	جريان منتظم
V	

انكليزي	عربي
Varied Flow	جريان متغير
Viscosity	لزوجة
W	
Wave Celerity	سرعة انتشار موجة
Weiket Gates	موزع
Weir	هدار
Wetted Area	مقطع مبلول
Wetted Perimeter	محيط مبلول

المراجع العلمية

1- المراجع العربية

1- أحمد فيصل أصفري، نوفل شماس **الهيدروليك 3** ، **منشورات جامعة حلب، 1989.**

2- شـــريف فتحي الشـــافعي، المرجع الكامل في ميكانيكا الموائع ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 2006.

3- آصف شاهين ، الهيدروليك 2، منشورات جامعة دمشق، 1996.

4– غسان مخائيل ابراهيم، بسام عبد العزيز الخضر **الهيدروليك 3** ، **منشورات جامعة البعث، 1996.**

5- محمد عبد الرحمن الجنايني، **الهيدروليكا وتطبيقاتها في الهندســـة المدنية، الجزء الثاني، دار الراتب الجامعية، 1986 .**

2- المراجع الأجنبية

1. A. Osman Akan**, Open Channel Hydraulics**, Butterworth-Heinemann 2006.
2. VEN TE CHOW, **OPEN-CHANNEL HYDRAULICS** by the McGraw-Hill Book Company,1959
3. Hubert Chanson,**Environmental Hydraulics for Open Channel Flows,** Butterworth-Heinemann 2004
4. Roland Jeppson**, Open Channel Flow**: Numerical Methods and Computer Applications, published in the Taylor & Francis – Library,2011.
5. M. Hanif Chaudhry **Open-Channel Flow**, Springer Science2008
6. Madan Mohan Das, **Open Channel Flow**, PHI Learning Private Limited,2011
7. P. Balachandran **Engineering Fluid Mechanics**, PHI Learning Private Limited,2011

1. Douglas J.F, Gasiorek J.M and Swaffield**, Fluid Mechanics** 3ed Edition Longman Scientific &Technical 1995.
2. Young, D. F., B. R. Munson, T. H. Okiishi, and W. W. Huebsch, A Brief, **Introduction to Fluid Mechanics**, Wiley, New York (2007).
3. White, F. M., **Fluid Mechanics**, 5th ed., McGraw-Hill, New York (2003).

4. White, F. M., **Viscous Fluid Flow**, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (2006).
5. Vennard, J. K. and R. L. Street, **Elementary Fluid Mechanics**, 6th ed, John Wiley, New York (1982).
6. Shaughnessy, E. J., I. M. Katz, and J. P. Schaffer, **Introduction to Fluid Mechanics**, Oxford Univ. Press (2004).
7. Schetz, J. A. and A. E. Fuhs, **Fundamentals of Fluid Mechanics**, 3rd ed., Wiley-Interscience (1999).
8. Yunus A. Çengel, John M. Cimbala**, Fluid mechanics: fundamentals and applications**, McGraw-HillHigher Education, 2006.
9. Didier Desjardins, Michel Combarnous, Nathalie Bonneton **Mécanique des fluides Problèmes résolus avec rappels de cours** Sciences Sup, Dunod
10. **dynamique des fluides non visqueux,** 5e édition Dunod 2002.
11. Jacques Bonvin, **Hydraulique urbaine I**, 2005
12. Bernard Massey**, Fluid Mechanics,** 8rd ed,published in the Taylor & Francis –Library,2005.
13. Bernard Massey**, Fluid Mechanics-Solution manual,** 8rd ed, published in the Taylor & Francis –Library,2006.
14. Armando Lencastre Hydraulique générale, Eyrolles 1999
15. Arora K.R, **Fluid Mechanics Hydraulic and Hydraulic Machines** Standard Publishers Distributors Nai Sarak Delhi 7rd ed 1993
16. John A.Robenson Clayton T. Crowe, **Engineering Fluid Mechanics** 6rd ed 1997.
17. Cengel, Y. A. and J. M. Cimbala, **Fluid Mechanics**, McGraw-Hill, New York (2005).
18. Ahmed, N., **Fluid Mechanics, Engineering** Press (1987).
19. Andrew Chadwick, John Morfet and Martin Borthwick, **Hydraulics in Civil and Environmental Engineering,** 4rd ed Taylor & Francis – Library,2005.
20. Y. NAKAYAMA, **Introduction to Fluid Mechanics,** Butterworth-Heinemann 2000.
21. Kreith, F.; Berger, S.A.; et. al. **Fluid Mechanics Mechanical Engineering Handbook** Ed. Frank Kreith Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
22. Nemanja Trifunovi, **Introduction to Urban Water Distribution**, Published by:Taylor & Francis/Balkema, 2006.
23. Jack B. Evett, Cheng Liu, **2500 solved problems in fluid mechanics and hydraulics**, McGraw Hill Professional, 1989 - Science
24. Laborde J.P**. Elements D'hydraulique Generale** Ecole Polytechnique De L'universite De Nice - Sophia Antipolis**,** 2007

تم تدقيق الكتاب علمياً من قبل:

الدكتور	الدكتور	الدكتورة
نبيل شيخ قروش	محمود البكور	ناهد فرهود

تم تدقيق الكتاب لغوياً من قبل:

الدكتور

أحمد شيخ حسين

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 (1-3) بالعلاقة

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

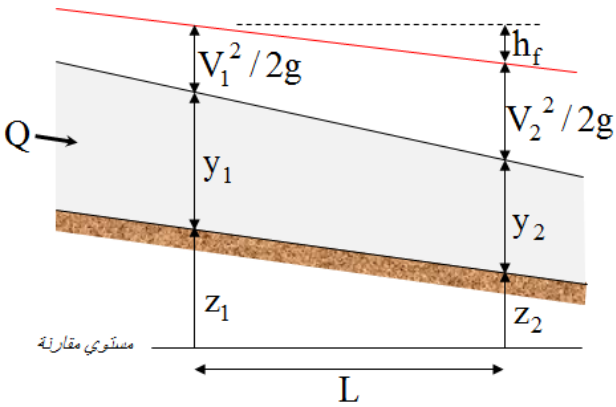
حيث:

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 (3-1)

3-2-1 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 (3-1)

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

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

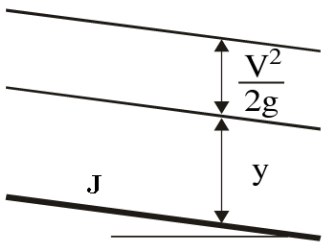
3-3 الحمولة النوعية Specific Energy E_s

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 مستوي مقارنة الأفقي ماراً من قاع المقطع المعتبر فهو متعلق به) فيكون:

$$H - Z = y + \frac{V^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad E_s = y + \frac{V^2}{2g} \qquad (5\text{-}3)$$

أي تعرف الحمولة النوعية في مقطع قناة بالقدرة في وحدة الوزن للماء الذي يجتاز المقطع مقاسةً بالنسبة لأرضية القناة شكل (3-2). 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:

$$E_s = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \qquad (6\text{-}3)$$



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

شكل (3-2)

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

تبين المعادلة (3-6) 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 $E_s = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$ 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

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

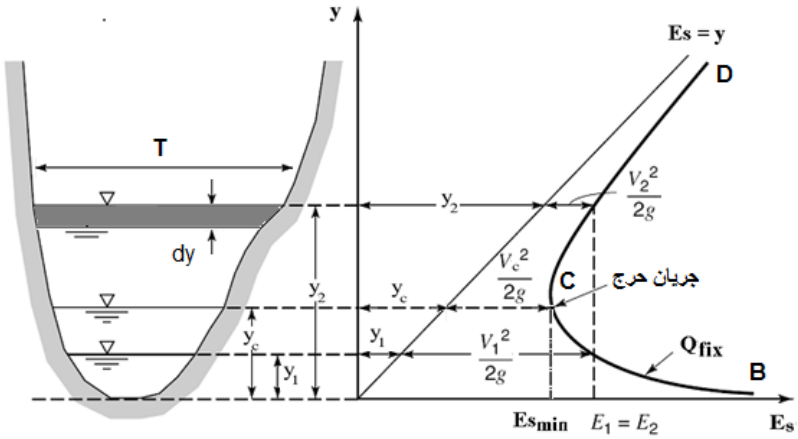
والخط المقارب يمثل هنا المحور الأفقي E_s

- عندما

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

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:

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

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

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

$$\frac{Q^2\,T}{g\,A^3} = 1 \text{ أو } \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \qquad (8\text{-}3)$$

وبدراسة معمقة نتوصل للنتائج التالية:

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

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

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

$$y_1 = y_2 = y_C$$

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:

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

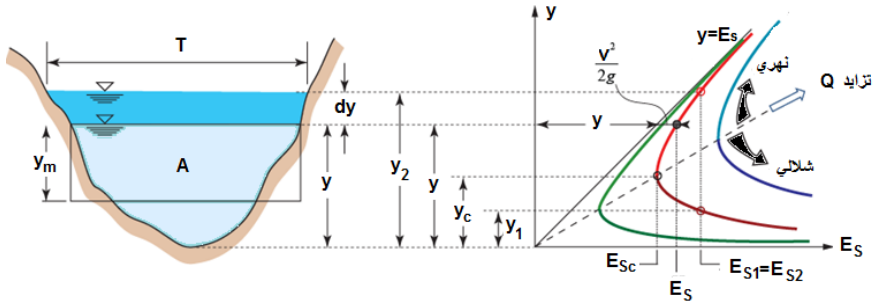
والآخر وهو المقارب لمنصف زاوية المحورين الداخلية ويدعى الفرع النهري ويكون عندئذ

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

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 $F_r = \frac{V}{\sqrt{g\, y_m}}$

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

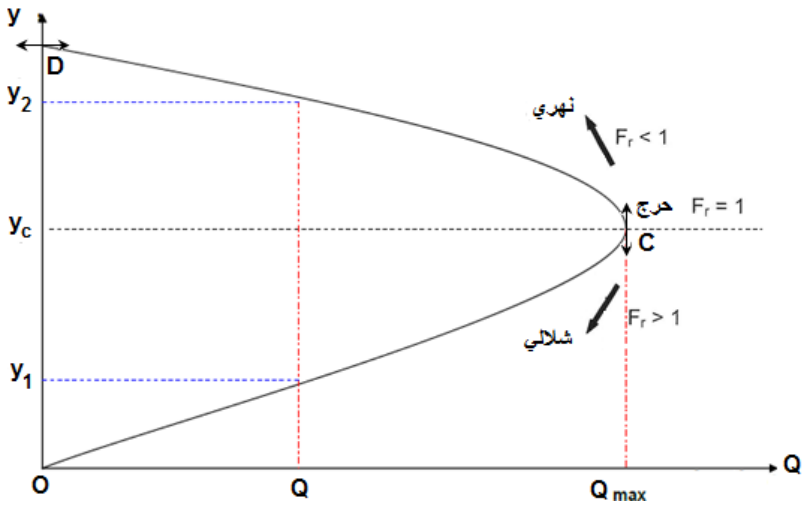
فإذا أردنا إدخال هذين العاملين في الاعتبار فإن: $F_r = \frac{V}{\sqrt{g\, y_m \frac{\cos\theta}{\alpha}}}$

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

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

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

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 (3-5)

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:

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

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

ويمثل الشكل (3-5) 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

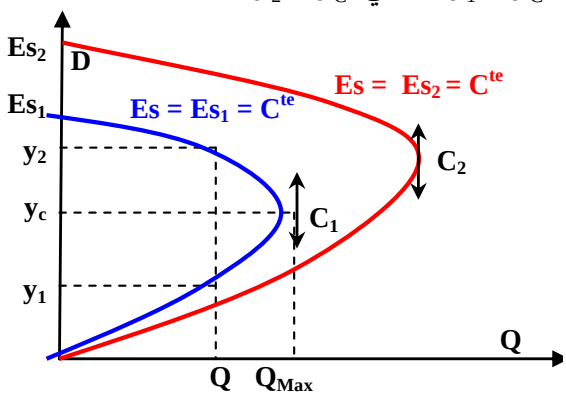
$$y \to E_S \qquad \Rightarrow \qquad \frac{dQ}{dy} \to \infty$$

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 .

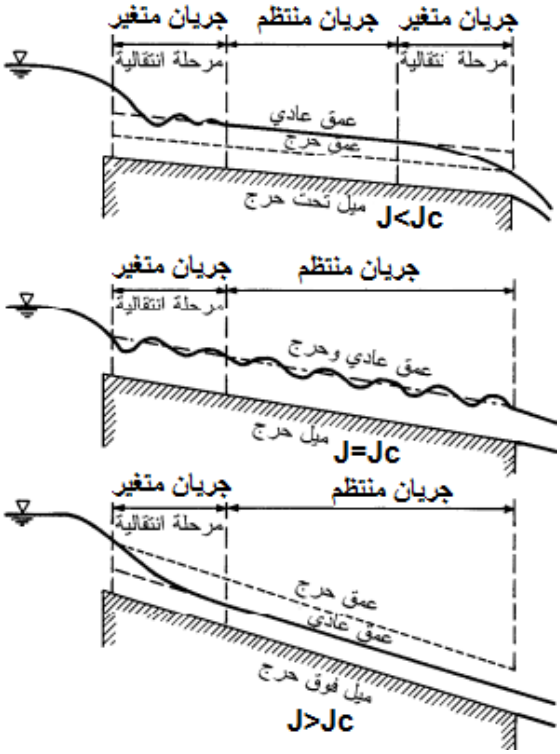
حيث:

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.

1-5-3 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:

$$E_S = y + \frac{b^2\,q^2}{2\,g\,b^2\,y^2} = y + \frac{q^2}{2\,g\,y^2} \qquad (13\text{-}3)$$

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:

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

بتعويض قيمة y_C في العلاقة (13-3) نجد

$$E_{S_{min}} = y_C + \frac{q^2}{2\,g\,y_C^2} = y_C + \frac{g\,y_C^2}{2\,g\,y_C^2}$$
$$E_{S_{min}} = y_C + \frac{y_C}{2} = \frac{3}{2}\,y_C \qquad (15\text{-}3)$$

ويمكن الحصول على العمق الحرج من العلاقة

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

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:

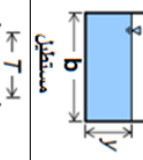
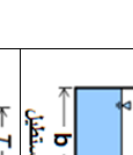
$$\frac{Q^2\,(b + 2\,m\,y_C)}{g\,[(b + 2\,y_C)\,y_C]^3} = 1 \qquad (20\text{-}3)$$

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

الجدول (3-1)

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

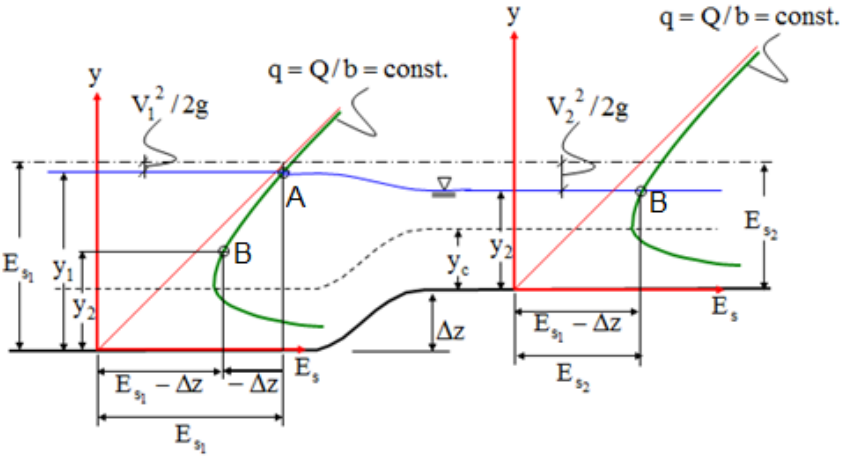
6-3 المناطق الانتقالية

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 (3-8).



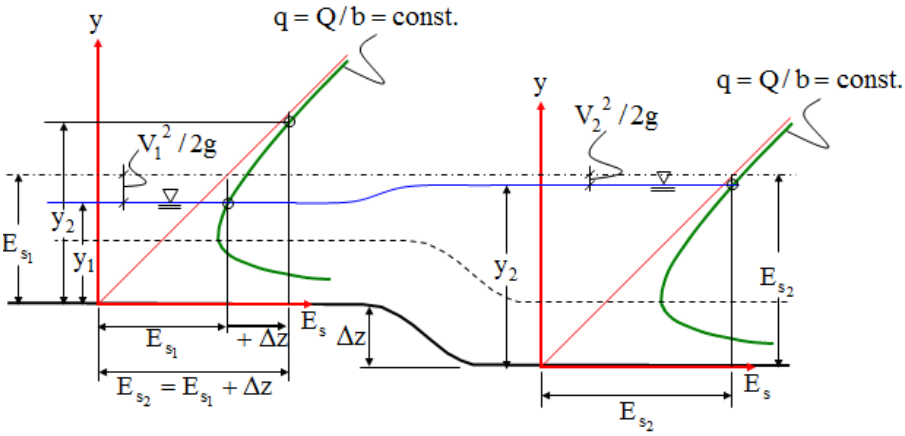
الشكل (3-8)

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 (3-9).

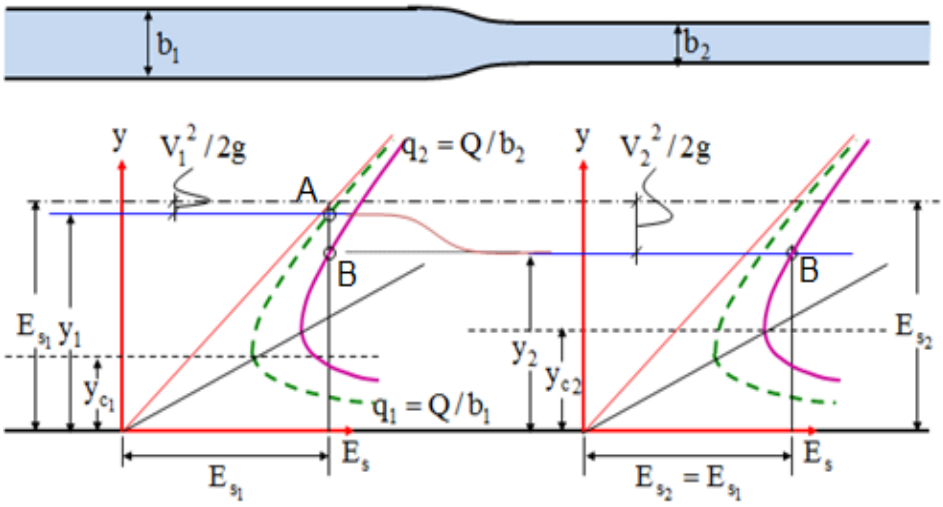


الشكل (3-9)

وتصبح المعادلة:

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

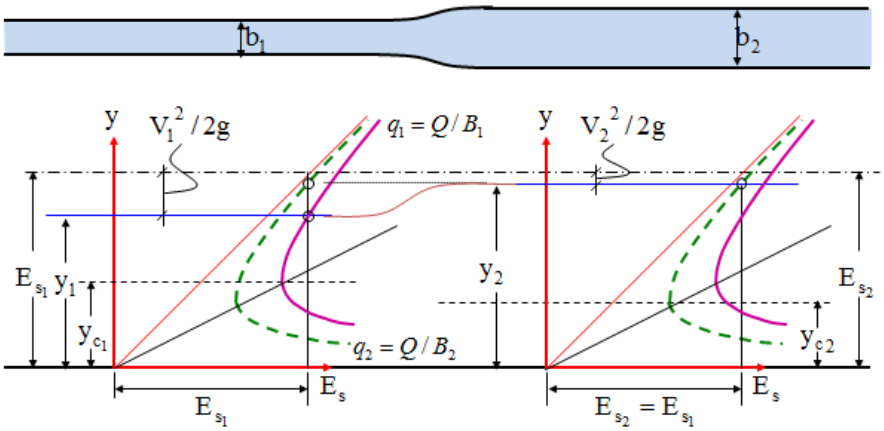
أو يتضايق عرض القناة ليتم الانتقال من (A) إلى B حتى الوصول إلى قيمة التدفق الواحدي الجديدة q_2 الشكل (3-10).



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)

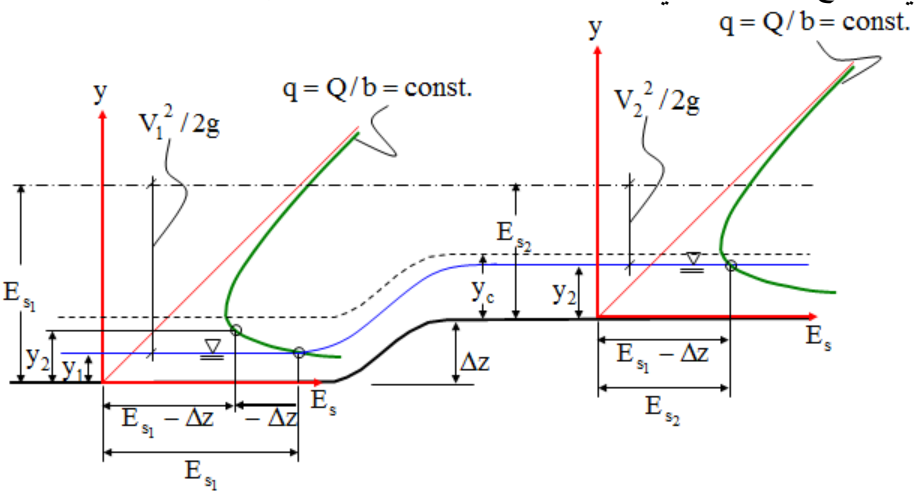


الشكل (3-11)

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

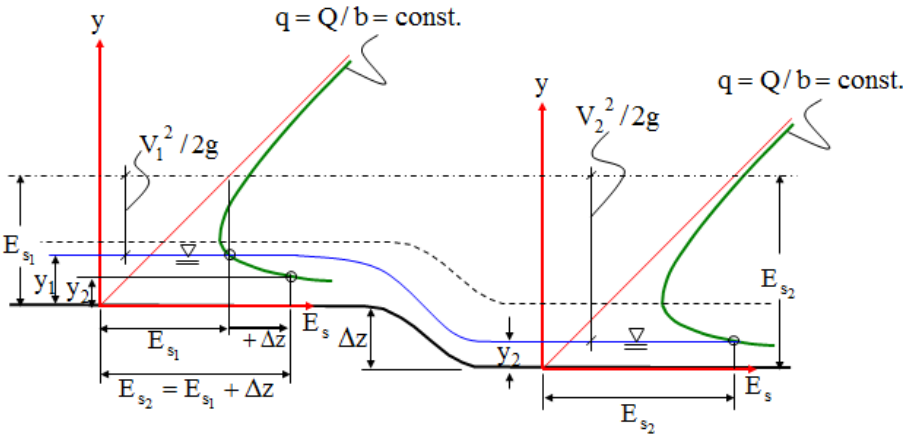
3-6-2 الانتقال من جريان فوق الحرج إلى جريان فوق الحرج.

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).



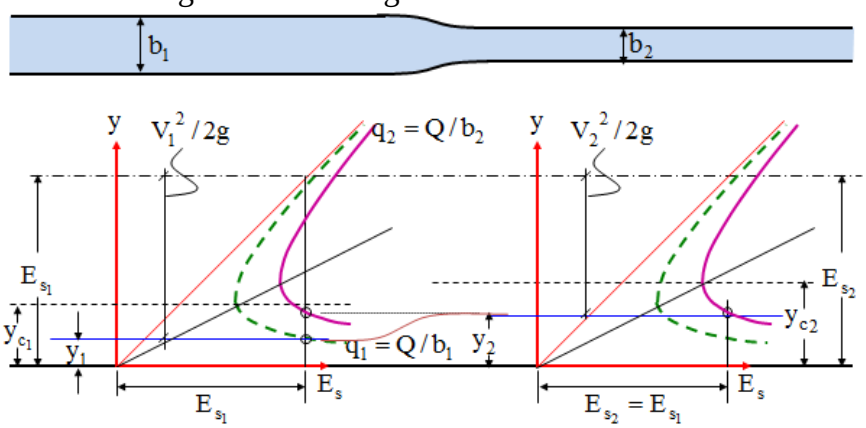
الشكل (3-12)

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

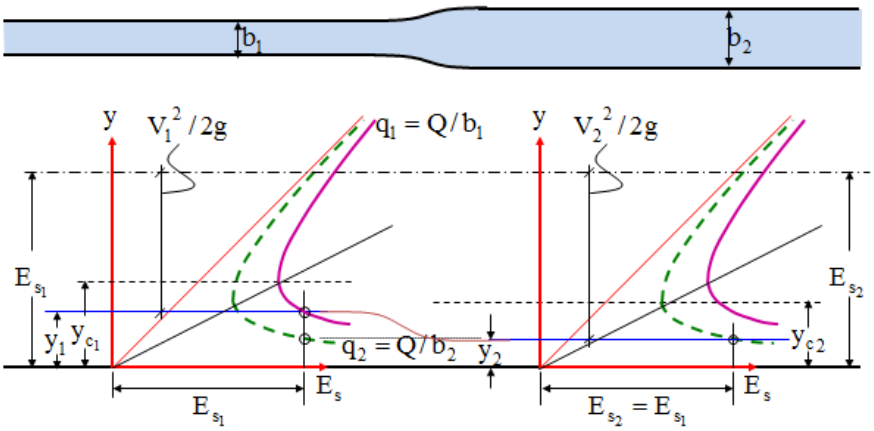


الشكل (13-3)

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



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:

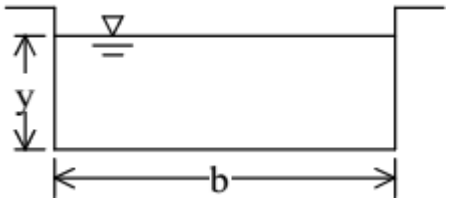
1) قناة ذات مقطع مستطيل $b = 2.5\,m$

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:

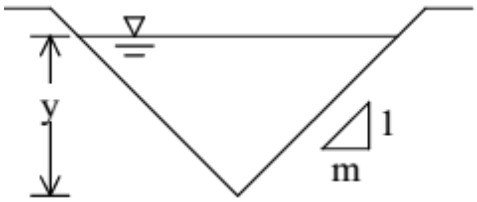


$$y_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1}{g}\left(\frac{Q^2}{b^2}\right)} = \sqrt[3]{\frac{1}{9.81}\left(\frac{8.5^2}{9.81\times 2.5^2}\right)}$$

$$y_C = 1.056\,m$$

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

حالة قناة مثلثية:

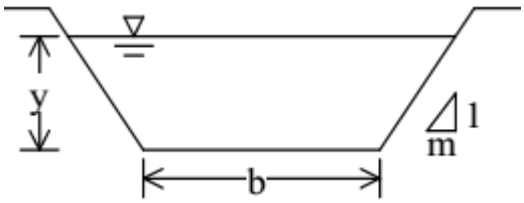


$$y_C = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{g\,m^2}} = \sqrt[5]{\frac{2\times 8^2}{9.81\times 1.5^2}}$$

$$y_C = 1.056\,m$$

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

حالة قناة شبه منحرفة:



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

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

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

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

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 $Q=25m^3/sec$ بعرض $b=6.25m$ وارتفاع الماء $y=2m$ يتضايق المقطع ليصبح العرض $5.75m$ والمطلوب:

1) أوجد ارتفاع الماء في منطقة التضايق.

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

الحل:

(1

$$E_{s1}=y_1+\frac{V_1^2}{2g}=2+\frac{(25)^2}{2\times9.81(6.25\times2)^2}=2.204m$$

ليكن y_2 ارتفاع الماء في منطقة التضايق فيكون:

$$E_{S1}=E_{S2}=y_2+\frac{V_2^2}{2g}$$

$$2.204=y_2+\frac{(25)^2}{2\times9.81\times(5.75\times y_2)^2}$$

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 قدره0.5m 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:

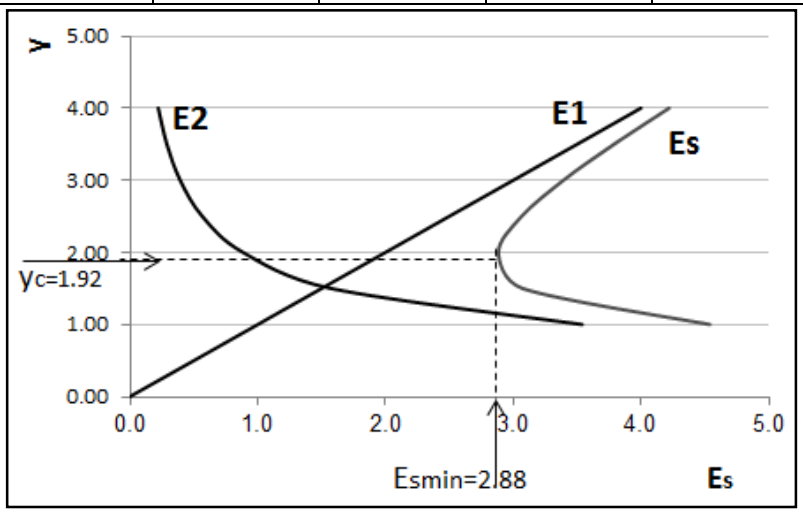
$$E_2 = \frac{V^2}{2.g} = \frac{Q^2}{2\, g\, A^2} = \frac{q^2}{2\, g\, y^2} = \frac{3.539}{y^2}$$

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 $Q = 22m^3/sec$ 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 $y = 2\,m$

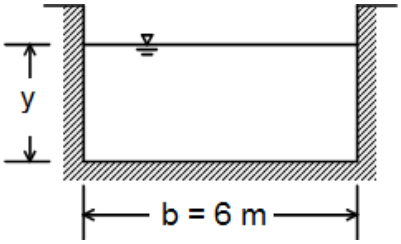
4) العمقين المتبادلين من أجل $E_s = 2.5\,m$

5) العمق المتبادل الثاني من أجل $y_1 = 1.5\,m$

6) تحديد نظام الجريان من أجل $y = 0.6\,m$ و $y = 1.8\,m$

7) الميل الحرج.

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



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:

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

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

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

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

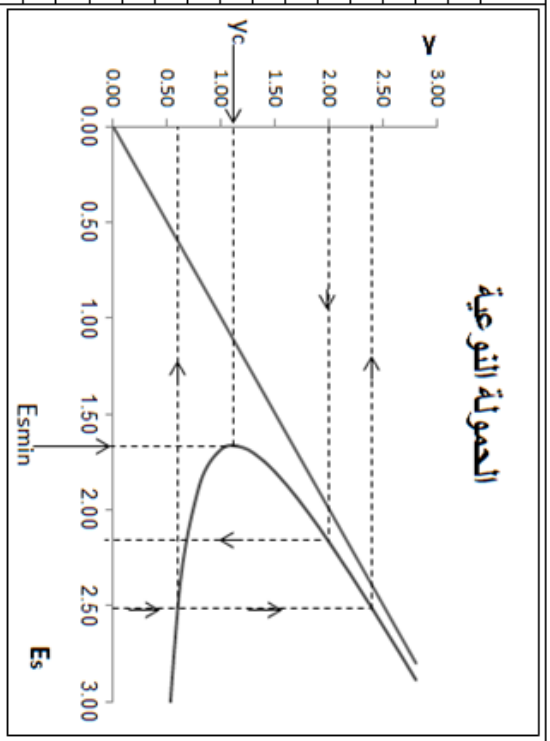
$$J_c = 0.0096 = 0.0027$$

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.

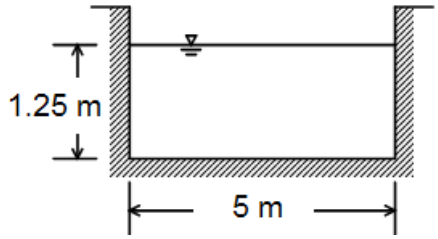
4) حدد طبيعة نوع الجريان.

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: $E_s = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \times 0.64 = 0.96 \text{ m}$

3) حساب السرعة الحرجة:

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

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

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

4) لتحديد طبيعة نوع الجريان نحسب رقم فرويد:

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

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

$$y_c < y_n$$

وبالتالي نوع الجريان نهري

1) لحساب الميل الحرج:

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

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

$$J_c = 0.0096 = 9.6 \text{ m/Km}$$

تطبيق (3-7):

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

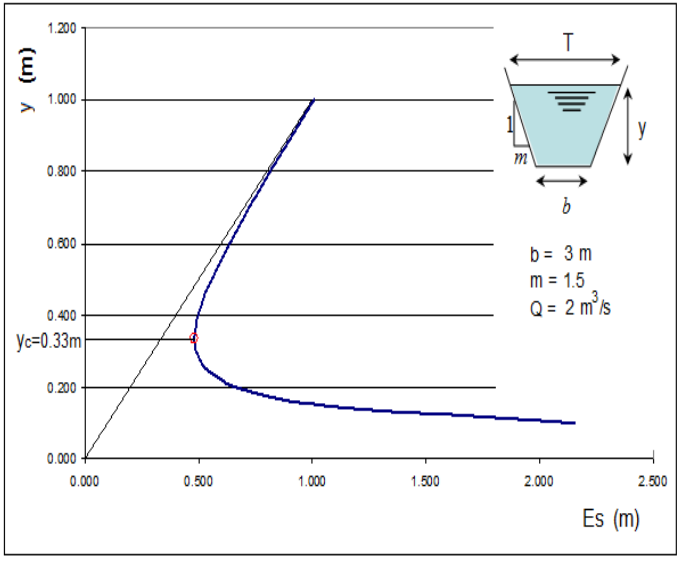
الحل:

يعطى تابع الحمولة النوعية بالعلاقة

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

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}}$$

y	(b+my)y A	V = Q/A	$V^2/2g$	Es	b+2my T	$y_m = A/T$	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

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

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}}$$

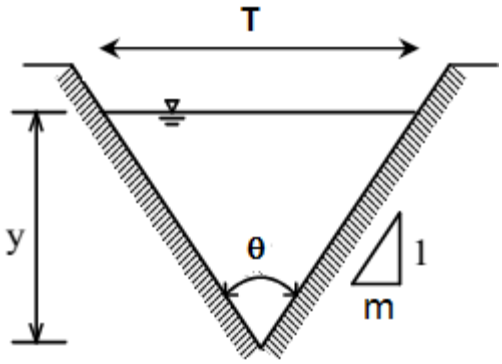
y	b+2my	(b+my)y	T	A	Q	V = Q/A	$V^2/2g$	Es	$y_m = A/T$	Fr
m	m	m^2	m	m^2	m^3/s	m/s	m	m	m	
0.100	3.300	0.315	3.300	0.315	0.987	3.132	0.500	0.600	0.095	3.24
0.164	3.492	0.533	3.492	0.533	1.558	2.924	0.436	0.600	0.153	2.39
0.228	3.685	0.763	3.685	0.763	2.061	2.700	0.372	0.600	0.207	1.89
0.260	3.781	0.883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

$$y_n = 2.95\ m$$

$$A = 32.155\ m^2$$

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

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

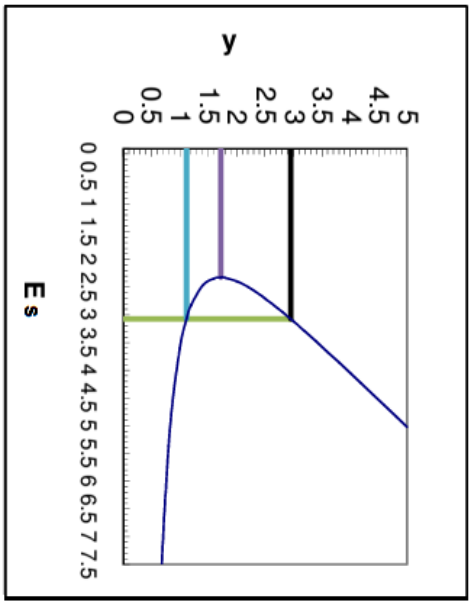
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{50}{32.155} = 1.555\ m/s$$

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

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

$$Fr = 0.359 < 1$$

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:

$$y = 1.12\ m$$

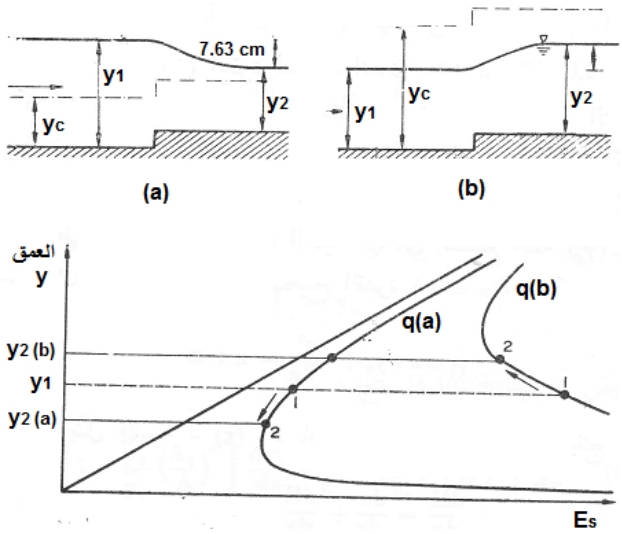
$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

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 $7.63\,cm$ 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:

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

في الحالة b:

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

تطبيق (3-12):

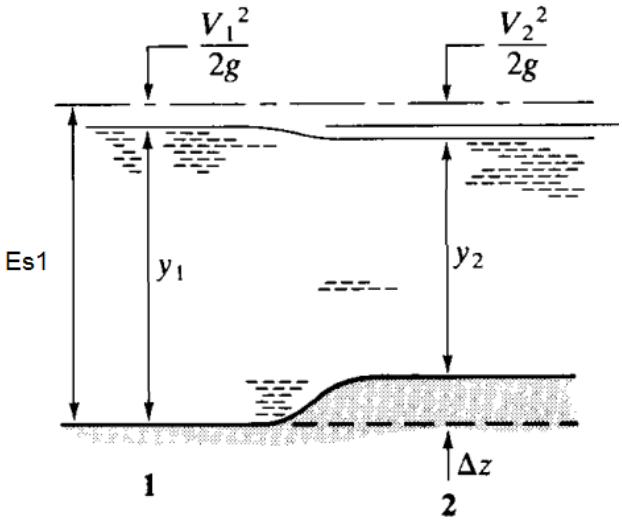
يجري الماء في قناة أفقية مكشوفة ذات مقطع مستطيل على شكل جريان هادئ بعمق $y_1 = 3\ m$ وبسرعة $V_1 = 3\ m/s$ ، احسب التغيير في عمق الماء وفي منسوب سطح الماء الناتج في الحالتين:

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:

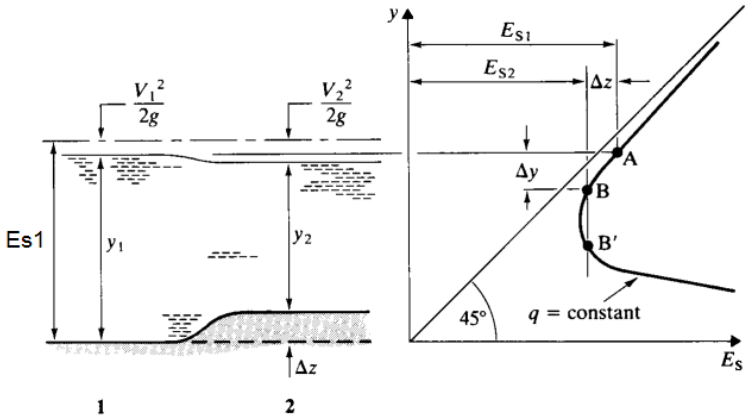
حالة جريان هادئ $y_2' = 2.5\ \text{m}$ وهو المطلوب

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

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

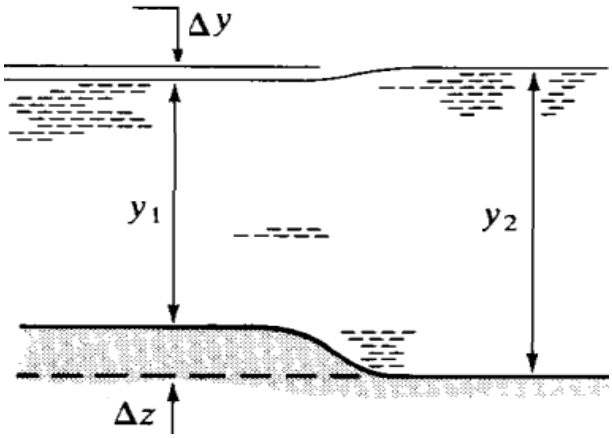
يتعلق بقيمة E_{S2} فقط لأن باقي العوامل ثابتة، نزيد من قيمة ΔZ تدريجياً أي ننقص من قيمة E_{S2} تدريجياً حتى الحصول على معادلة تقبل جذرين موجبين متساويين وجذر سالب مرفوض (إذا زادت قيمة E_{S2} عن هذه القيمة نحصل على جذرين تخيليين وجذر سالب).

بالحل ينتج أن:

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

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

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



الفصل الثاني
الجريان الدائم المنتظم

1-2 مقدمة:

إن الجريان المنتظم في الأقنية المكشوفة أو القنوات المغلقة غير الممتلئة بكاملها تحقق الشروط التالية:

1) التدفق ثابت $Q = const$

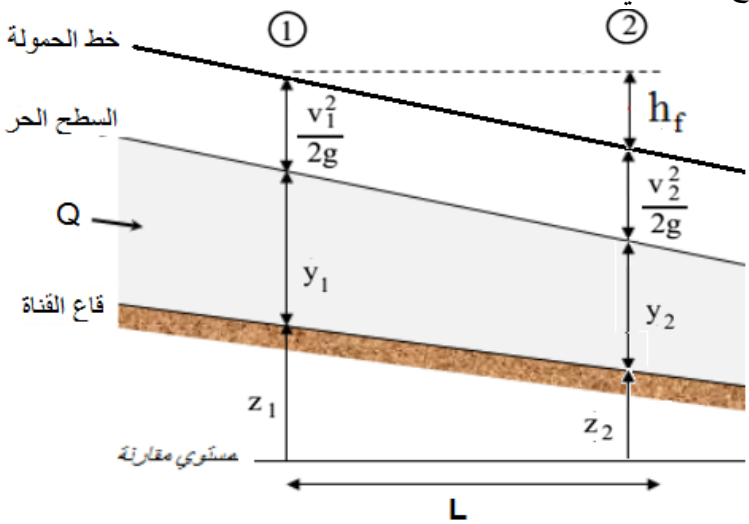
2) العمق المائي والمحيط المبلول والسرعة الوسطية تبقى نفسها في جميع مقاطع القناة ولا تتغير مع الزمن الشكل (2-1).

$A = const$ $\qquad$ $y = const$ $\qquad$ $V = const$

3) ميل مقطع القناة J يوازي ميل السطح الحر J_w ويوازي ميل خط الحمولة J_e

4) الخشونة متجانسة على طول المجرى.

5) الضياع الموضعي غير موجود.



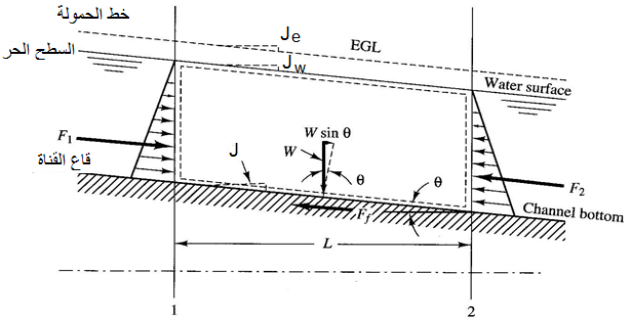
الشكل (2-1) الجريان الدائم المنتظم

2-2 المعادلات الأساسية للجريان المنتظم في الأقنية المكشوفة (معادلة شيزي)

لنعتبر جزءاً من قناة مكشوفة كما في الشكل (2-2) ميلها على الأفق θ يجري فيها الماء جرياناً منتظماً. وهو الجريان الذي يحدث في الأقنية الموشورية الطويلة المستقيمة (أو ذات الانحناء الخفيف جداً)، وتكون سرع الجريان الوسطية نفسها في كل المقاطع نظراً لأن مساحة المقطع المائي ثابتة أي:

$$V_1 = V_2 = ... = V_m$$

والمقطع الطولي للسطح الحر للماء يوازي المقطع الطولي لقاع القناة حيث يشكل مقطع سطح الماء الحر الخط البيزومتري للجريان، بينما خط الحمولة يوازي السطح الحر للماء ويرتفع عنه بمقدار ثابت $\frac{V^2}{2.g}$.



الشكل (2-2)

نلاحظ من الشكل أن $J = tg\theta$

وباعتبار ميل القناة صغيراً فإننا نستطيع أن نكتب:

$$J = tg\theta = \sin\theta \qquad (1\text{-}2)$$

يمكن في الجريان الدائم تحت تأثير الثقالة الأرضية وضع معادلة التوازن التالية (بالإسقاط باتجاه محور الجريان)، حيث القوة المحركة (وهي الثقالة الأرضية هنا) تتعادل بقوى الاحتكاك على الجدران.

والكتلة المائية المعتبرة متوازنة تحت تأثير وزنها $W\sin\theta$ وقوى الاحتكاك $F_f = \tau P L$ حيث يمثل τ جهد القص المتوسط على طول المحيط المبلول. وبكتابة معادلة الحركة لكتلة السائل بين المقطعين (1) و(2) وينتج أن:

$$F_1 + \gamma A L J - F_2 - \tau P L = 0 \qquad (2\text{-}2)$$

وبما أن $F_1 = F_2$

يكون:

$$\gamma\, A\, L\, J = \tau\, P\, L$$

$$\tau = \gamma\, R_h\, J \qquad (3\text{-}2)$$

أو

$$J = \frac{\Delta z}{L} = \frac{\tau}{\gamma\, R_h}$$

في الجريان المضطرب تتناسب قوى الاحتكاك مع مربع السرعة أي يمكن أن نكتب:

$$\tau = \psi\, \frac{\rho}{2}\, V^2 \qquad (4\text{-}2)$$

بالتعويض في المعادلة السابقة:

$$J = \psi\, \frac{\rho}{2}\, V^2\, \frac{1}{\gamma\, R_h} = \psi\, \frac{V^2}{2\, g\, R_h}$$

ويكون

$$V = \sqrt{\frac{2\, g}{\psi}}\, \sqrt{R_h\, J} \qquad (5\text{-}2)$$

وبفرض

$$C = \sqrt{\frac{2\, g}{\psi}} \qquad (6\text{-}2)$$

تدعى العلاقة السابقة معادلة شيزي ويدعى C بمعامل شيزي وقيمته تتبع خشونة سطح القناة إذ تتراوح بين 35 للسطوح الخشنة و140 من أجل السطوح الملساء.

ويتبين لنا مما سبق أن أمثال شيزي ليس أمثالاً بدون أبعاد ولكن $\frac{L^{1/2}}{T}$ لذلك يجب الانتباه إلى الوحدات المستعملة في قيمة C. وهي معادلة دارسي ويسباخ التي تم اشتقاقها سابقاً في الجزء الأول في الجريان المضطرب لحساب الضياعات الخطية

$$h_f = J\ L$$

$$h_f = \psi\, \frac{V^2}{2\, g\, R_h}\, L \qquad (7\text{-}2)$$

وقد كانت بالنسبة للأنابيب الدائرية:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\pi\, D^2}{4\pi\, D} = \frac{D}{4}$$

بالتعويض يكون:

$$h_f = 4\psi \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = \lambda \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \qquad (8\text{-}2)$$

و $\lambda = 4\psi$ عامل الاحتكاك الطولي.

في كل اشتقاقات معادلات الجريان في الأقنية المكشوفة نبقي على نصف القطر الهيدروليكي R_h كوسيط طولي في المعادلات بينما يوضع القطر D في حالة الجريان في الأنابيب المضغوطة دائرية المقطع.

h_f: الضياعات الحاصلة على طول المجرى.

وبالتالي نستطيع كتابة معادلة شيزي على الشكل:

$$V^2 = \frac{8g}{\lambda}\frac{h_f}{L} R_h$$

ونحن نعلم أن القيمة $\frac{h_f}{L}$ تعبر عن الضياعات الحاصلة على واحدة الطول وتسمى بالميل الهيدروليكي أو ميل خط الحمولة وبالتالي فإن العلاقة تأخذ الشكل:

$$V^2 = \frac{8g}{\lambda} J_e R_h$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}\sqrt{J_e R_h}$$

وباعتبار أن $J_e = J$ لأن الجريان منتظم يكون:

$$V = C\sqrt{J R_h} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث أن $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = \sqrt{\frac{2g}{\psi}}$ ويدعى الثابت C بثابت شيزي. وبالاستعانة بمعادلة الاستمرار يمكن تحديد قيمة التدفق المار حيث:

$$Q = A\,V = A\,C\sqrt{R_h J} \qquad (10\text{-}2)$$

وبإدخال مفهوم جديد نسميه أمثال التدفق ولنرمز له K ويساوي:

$$K = A\,C\sqrt{R_h}$$

ستأخذ معادلة التدفق الشكل التالي:

$$Q = K\sqrt{J} \qquad (11\text{-}2)$$

أو

$$K = \frac{Q}{\sqrt{J}}$$

نلاحظ من خلال هذه العلاقة أن أمثال التدفق كمضمون فيزيائي شبيه بالتدفق، وهو يساويه بالتحديد عندما يكون ميل القناة مساوياً إلى الواحد.

بالعودة إلى علاقة شيزي لحساب السرعة

$$V = C\sqrt{J\,R_h}$$

ندخل مفهوماً جديداً نسميه أمثال السرعة ونرمز له بالرمز ω ويساوي $\omega = C\sqrt{R_h}$

وتصبح علاقة شيزي على الشكل التالي $V = \omega\sqrt{J}$ أي $\omega = \frac{V}{\sqrt{J}}$

نلاحظ من العلاقة الأخيرة أن أمثال السرعة تساوي السرعة في حال كون ميل القناة مساوياً للواحد. نستعمل أمثال التدفق K وأمثال السرعة ω بشكل واسع في إجراء الحسابات الهيدروليكية وهما يعبران من الناحية الفيزيائية عن المواصفات الهيدروليكية الأساسية للمقطع المائي.

3-2 المعادلات التجريبية المستخدمة لتحديد معامل شيزي

تستخدم علاقات تجريبية كثيرة لتحديد قيمة معامل شيزي، كل من هذه العلاقات استنتج على أساس مجموعة من التجارب أجراها أحد الباحثين أو على أساس القراءات المأخوذة على الأقنية الموجودة فعلاً.

ونورد هنا مجموعة كبيرة من هذه العلاقات والتي يكثر استخدامها مرتبة حسب ترتيبها الزمني.

1-3-2 **معادلة كانكييه–كيتر:**

في عام 1869 استنتج المهندسان السويسران كانكييه– كيتر معادلتهما لتحديد قيمة معامل شيزي من واقع قياسات على مجموعة من الأقنية المختلفة الأشكال والأحجام على الشكل الآتي:

$$C = \frac{23 + \frac{0.0015}{J} + \frac{1}{m}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{J})\,(\frac{m}{\sqrt{R_h}})} \qquad (12\text{-}2)$$

حيث:

m: معامل يسمى معامل كيتر وهو يساوي تقريباً معامل مانينغ والموضح قيمته في الجدول (1-2) تبعاً لمادة جدران وقاع الأقنية لبعض أنواع الأقنية التي يكثر انشائها.

2-3-2 **معامل مانينغ:**

في عام 1889 استنتج المهندس الايرلندي مانينغ Robert Manning معادلته لتحديد قيمة شيزي C من واقع مجموعة كبيرة من التجارب على الوجه الآتي:

$$C = \frac{1}{n} R_h \qquad (12\text{-}2)$$

تعتبر معادلة مانينغ من أكثر المعادلات انتشاراً في أقطار العالم المختلفة لتحديد قيمة معامل شيزي وذلك نظراً لبساطتها وسهولتها في الحسابات.

n: هو معامل مانينغ والمساوي تقريباً لمعامل كيتر والذي يسمى أيضاً معامل الخشونة.

وتعطى قيم معامل مانينغ بالجدول(2-1) تبعاً لمادة جدران وقاع القناة.

جدول (2-1) قيم معامل مانينغ

الرقم	نوع القناة	معامل مانينغ
1	قناة مبطنة بالاسمنت	0.011
2	قناة مبطنة بالبيتون	0.014
3	أقنية الصرف الصحي الفخارية	0.015
4	قناة مبطنة بالطين	0.017
5	قناة ترابية في حالة جيدة	0.020
6	قناة ترابية في حالة متوسطة	0.025
7	قناة ترابية في حالة سيئة	0.030

باستخدام معادلتي مانينغ وشيزي يمكن كتابة المعادلة لإيجاد التدفق في الجريان الدائم والمنتظم في قناة مكشوفة كالآتي:

$$Q = A\,V = C\,A\sqrt{R_h\,J} = \frac{1}{n} A\,R_h^{2/3}\sqrt{J} \qquad (13\text{-}2)$$

2-3-3 **معادلة بازان:**

في عام 1897 استنتج الفرنسيان بازان معادلة لتحديد قيمة C من واقع تجارب أجراها على مجموعة من الأقنية المخبرية الصغيرة.

$$C = \frac{157.6}{1.81 + \frac{m}{\sqrt{R_h}}} \qquad (14\text{-}2)$$

أو باعتبار

$$n = \frac{m}{1.81}$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R_h}}} \qquad (15\text{-}2)$$

وتعطى قيم معامل بازان بالجدول (2-2) تبعاً لمادة جدران وقاع القناة.

جدول (2-2) قيم معامل بازان

الرقم	نوع القناة	معامل بازان
1	قناة اسمنتية او من الخشب الممسوح	0.11
2	قناة من الخشب غير الممسوح او من البيتون	0.21
3	قناة من الحجر المنحوت او القرميد	0.83
4	قناة ترابية في حالة جيدة	1.54
5	قناة ترابية في حالة متوسطة	2.36
6	قناة ترابية في حالة سيئة	3.17

بينت الحسابات التي أجريت للأقنية الموجودة أن النتائج التي تعطيها معادلة بازان ليست بالدقة الكافية مثل معادلة مانينغ.

4-3-2 **معادلة فورشخيمر:**

في عام 1923 استنتج فورشخيمر العلاقة التجريبية الآتية لتحديد معامل شيزيC :

$$C = \frac{1}{n} R_h^{0.5} \qquad (16\text{-}2)$$

حيث قيمة معامل الخشونة n يمكن تحديدها من جدول مانينغ.

5-3-2 **معادلة بافلوفسكي:**

في عام 1925 استنتج العالم السوفيتي بافلوفسكي معادلته لتحديد قيمة معامل شيزي على الشكل التالي:

$$C = \frac{1}{n} R_h^{a} \qquad (17\text{-}2)$$

حيث:

n: معامل خشونة مانينغ

a: يمكن حساب قيمته من المعادلة:

$$a = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R_h}(\sqrt{n} - 0.1) \qquad (19\text{-}2)$$

هذه المعادلة تعطي نتائج مرضية إذا طبقت في حدود:

$$\begin{aligned} &0.1 < R_h \le 3 \\ &0.009 < n \le 0.004 \end{aligned} \qquad (20\text{-}2)$$

كما اقترح بافلوفسكي لتسهيل الحسابات استخدام a من معادلة مبسطة وذلك بدون تأثير كبير على دقة النتائج على الوجه الآتي:

من أجل $R_h \le 1m$ $\quad a = 1.5\sqrt{n}$

من أجل $R_h > 1m$ $\quad a = 1.3\sqrt{n}$

6-3-2 معادلة أجروسكين:

في عام 1949 استنتج السوفيتي أجروسكين معادلته لتحديد قيمة معامل شيزي على الوجه التالي:

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \log R_h \qquad (21\text{-}2)$$

حيث n معامل خشونة مانينغ.

تجدر الإشارة إلى أنه لا تستخدم أي علاقة من العلاقات السابقة في حالة الجريان في الأنهار والأقنية العريضة حيث $b >> 10\ y$

إن جميع العلاقات السابق ذكرها هي علاقات تجريبية، تختلف دقتها حسب الظروف التي استنتجت على أساسها، وكذلك الظروف المستخدمة فيها.

كما ذكرنا سابقاً فإن أكثر العلاقات استخداماً في تطبيقات الجريان المنتظم هي معادلة مانينغ وذلك نظراً لبساطتها وسهولتها في الحسابات.

4-2 العوامل المؤثرة على أمثال الخشونة:

يعتبر المهندسون عادةً أن للقناة قيمة وحيدة ل n في مختلف الظروف. ولكن في الحقيقة تتغير قيمة n كثيراً وتتعلق بعدد من العوامل نذكر أهمها:

1) **خشونة السطح:** يعبر عن خشونة السطح ببعد وشكل حبيبات المادة المؤلفة للمحيط المبلول والتي تسبب بطئ الجريان. وبشكل عام يمكن أن نقول أن الحبيبات الناعمة تؤدي إلى قيم صغيرة لـ n والحبيبات الكبيرة تعطي قيم كبيرة ل n.

2) **الأعشاب:** يمكن اعتبارها كنوع من خشونة السطوح ولكنها تخفض كثيراً من سعة القناة وتبطئ الجريان. يتعلق هذا التأثير بارتفاع الأعشاب، كثافتها وتوزيعها ونوعها (علماً بأن هذا التأثير يتغير من فصل لآخر). وهذا العامل مهم جداً في تصميم أقنية الصرف الصغيرة.

لقد قيست قيمة لـ n تساوي 0.033 في شهر آذار لبعض أقنية الصرف الصحي حيث كانت الأقنية نظيفة ولكن قيمتها ارتفعت إلى0.055 في شهر نيسان بسبب نمو الأعشاب وازدادت كثافة العشب في الصيف مما أدى إلى ارتفاع قيمة n إلى القيمة 0.115 لذلك يمكن القول أنه يمكن أخذ القيمة n=0.04 لأقنية الصرف ذات الصيانة الجيدة والمعرضة لنمو بعض الأعشاب الصغيرة ولكن لا تنبت فيها نباتات كثيفة، بينما تعتبر القيمة n=0.05 لحالة الأقنية ذات الصيانة المتوسطة والقيمة n=0.1 لحالة الأقنية ذات الصيانة غير الجيدة أو المهملة.

3) **عدم انتظام القناة:** ويشمل ذلك عدم انتظام المحيط المبلول والتغيرات في المقطع في أبعاده وشكله مع طول القناة. في الأقنية الطبيعية يظهر عدم الانتظام هذا بوجود تجمعات رملية أو حفر وتموجات في أرضية القناة. بشكل عام لا يسبب التغير التدريجي في مقطع القناة وشكلها تأثيراً محسوساً على قيمة n ولكن التغيرات المفاجئة لمقاطع ضيقة وعريضة تسبب تزايداً في قيمة n.

4) **تخطيط القناة:** يعطي الانحناء الخفيف ذا نصف القطر الكبير قيمة صغيرة نسبياً ل n بينما الانحناء الشديد والمنعطفات الحادة تسبب زيادة في قيمة n. وبشكل عام يمكن القول أن ازدياد الخشونة مهمل في أقنية سرعة الجريان فيها صغيرة. بينما تسبب المنعطفات الكثيرة في الانهار الطبيعية ازدياداً قد يصل إلى 30%.

5) **الترسب والتآكل:** يمكن للترسب أن يعير قناة غير منتظمة إلى قناة منتظمة نسبياً وبالتالي ينقص من قيمة n بينما يؤدي مفعول التآكل إلى نتيجة عكسية ويزيد n. ومع ذلك فإن تأثير الترسب يتعلق بطبيعة المواد المترسبة وكيفية ترسبها، فمثلاً ترسب أمواج رملية في قناة منتظمة يزيد في الخشونة. تتعلق كمية التآكل وانتظامه بالمواد المشكلة لجدران القناة فالجدران الرملية والبحصية تتآكل بشكل أكبر من الجدران الغضارية.

6) **الانسداد الجزئي للمقطع:** إن وجود أغصان الأشجار وما شابه ذلك من العوائق في مجرى القناة يسعى لزيادة n وقيمة هذه الزيادة تتعلق بطبيعة العوائق وأبعادها وشكلها وعددها وتوزيعها.

7) **المنسوب والتدفق:** تتناقص n في أكثر الحالات بازدياد المنسوب وبازدياد التدفق فعندما يكون عمق الماء صغيراً يكون تأثير خشونة قاع القناة أكبر نسبياً في تبطئ الجريان، ولكن مع ذلك يمكن أن تكون n كبيرة في المناسيب العالية للمجاري ذات الضفاف الخشنة والمعشبة.

بعد التعرف على العوامل الأساسية التي تؤثر في أمثال الخشونة وضع Cowan طريقة لحساب n اعتباراً من العلاقة:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m \qquad (22\text{-}2)$$

حيث:

n_0 : القيمة الأساسية لـ n لقناة مستقيمة منتظمة السطوح.

n_1 : قيمة تضاف لـ n_0 لتصحيحها بسبب عدم انتظام السطوح.

n_2 : قيمة تبين تأثير شكل وأبعاد مقطع القناة.

n_3 : قيمة تبين تأثير الانسداد.

n_4 : قيمة تبين تأثير النباتات وشروط الجريان.

m : عامل تصحيحي من أجل المنعطفات في القناة.

ويبين الجدول (2-3) القيم المناسب اختيارها لهذه الأمثال:

الجدول (2-3) قيم الخشونة

شروط القناة		القيم	
المواد المنشأة منها القناة	ترابية	n_0	0.020
	صخرية		0.025
	بحص ناعم		0.024
	بحص خشن		0.028
درجة عدم الانتظام	ضعيفة	n_1	0.005
	متوسطة		0.01
	شديدة		0.02
تغير مقطع القناة	تدريجي	n_2	0.00
	متغير من حين لآخر		0.005
	متواتر كثيراً		0.015-0.01
التأثير النسبي للانسداد	مهمل	n_3	0.00
	ضعيف		0.01-0.015
	محسوس		0.02-0.03
	شديد		0.04-0.06
النباتات	ضعيفة	n_4	0.005-0.01
	متوسطة		0.01-0.025
	عالية		0.025-0.05
	عالية جداً		0.05-0. 1
أهمية المنعطفات	ضعيفة	m	1.0
	محسوسة		1.15
	شديدة		1.30

5-2 تصميم الأقنية المكشوفة لجريان منتظم

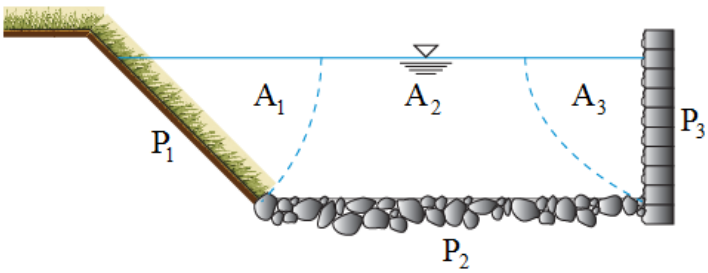
لأي مسألة تتعلق بحساب جريان منتظم في قناة مكشوفة نجد أن هناك متغيرات عديدة يجب إيجادها وهي:

1) **التدفق المار**Q: يمكن أن يكون التدفق مفروضاً علينا كأن يكون علينا بناء قناة لجر مياه إلى منطقة تجمع سكاني فحاجة هذا التجمع إلى المياه يحددها عدد السكان وسوية معيشتهم وحاجات الصناعة والسقاية والمواشي.. أو كأن يكون علينا بناء قناة لسقاية مساحة معينة من الأراضي الزراعية فإن الحاجة إلى الماء تحددها المساحة ونوع الزراعة ونوع التربة وشروط المناخ.

2) **السرعة**V: لهذا الحساب عدة تطبيقات عملية مثلاً دراسة مفعول التآكل والترسيب في القناة.

3) **عمق الماء** y: يطلب هذا الحساب لتعيين منسوب الماء في القناة.

عامل الخشونة n: فمثلاً قناة ترابية، ترابية مكسية داخلياً بصبة اسمنتية، حجرية، قرميدية، خشبية، معدنية، أنابيب مسبقة الصنع (بيتونية– أو بلاستيكية أو معدنية أو اسمنت امينتي). وإذا كانت الخشونة الوسطى غير متساوية على طول القناة الشكل (3-2) (بنية القاع تختلف عن بنية الجوانب مثلاً) لتطبيق علاقة مانينغ لقناة كهذه يصبح من الضروري حساب الخشونة المعادلة لكامل المحيط المبلول.



الشكل (3-2) بنية القاع تختلف عن بنية الجوانب

لحساب الخشونة المعادلة نقسم السطح الى N جزء $(A_1, A_2, \dots A_N)$ بمحيط مبلول $(P_1, P_2, \dots P_N)$ ونصف قطر هيدروليكي $(R_{h1}, A_{h2}, \dots A_{hN})$ وتكون الخشونة $(n_1, n_2, \dots n_N)$ معلومة.

ان لكل جزء من المقطع نفس السرعة الوسطية أي أن:

$$V_1 = V_2 = \dots = V_N = V = Q/A$$

وباعتبار أن

$$A_1 + A_2 + \dots + A_N = \sum_1^N A_i = A$$

يكون:

$$V = \frac{1}{n_1}\left(\frac{A_1}{P_1}\right)^{2/3} J^{1/2} = \frac{1}{n_2}\left(\frac{A_2}{P_2}\right)^{2/3} J^{1/2} = \cdots$$

$$= \frac{1}{n_N}\left(\frac{A_N}{P_N}\right)^{2/3} J^{1/2} = \frac{1}{n_{eq}}\left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} J^{1/2}$$

وبالتالي يمكن الحصول على قيمة امثال الخشونة بالعلاقة التالية:

$$n_{eq} = \left[\frac{\sum_{1}^{N} P_i\, n_i^{3/2}}{P}\right]^{2/3} \qquad (23\text{-}2)$$

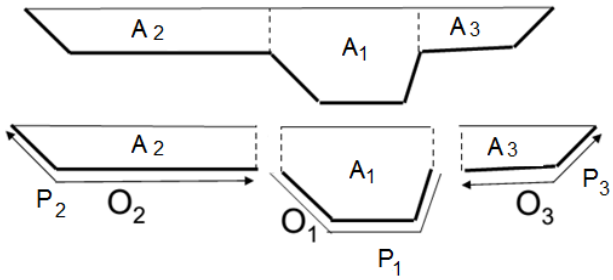
1) **الميل الطولي لقاع القناة** J :يفرض الميل الطولي علينا بموجب الشروط الطبوغرافية كأن يكون علينا تصميم قناة مكشوفة تصل بين موقعين البعد بينهما L وفرق المنسوب بينهما y فيكون الميل $J = \frac{y}{L}$ غير أن بروفيل الأرض بين الموقعين غير مستو تماماً فقد يكون على القناة أن تجتاز هضبات وأودية لذلك تؤخذ وصلات متتالية ويجري الحساب لكل منها على حدى ونجد سلسلة من الميول $J_1\ J_2 \ldots$

$$J_n = \frac{y_n}{L_n} \qquad (24\text{-}2)$$

ومن الممكن أن نلجأ صنعياً إلى تعديل الميل كأن نخفضه بقصد تخفيف السرعة في موقع ما حتى لا تتآكل كل جدران القناة أو أن نزيده بقصد زيادة السرعة في موقع حتى لا تنبت الأعشاب في القناة.

2) **مقطع القناة** A **والعناصر الهندسية لمقطع القناة:** يمكن أن يكون مقطع القناة مفروضاً علينا كما هو في حالة المجاري الطبيعية للمياه وبالإمكان إجراء بعض الاصلاحات في هذا المقطع كما يمكن أن يطلب منا تصميمه ويكون بشكل مستطيل– شبه منحرف (ميول متعددة لجوانب القناة)، دائري، بيضوي (بأشكاله المتعددة) أو مركب وضمن الشكل الواحد يمكن أن نبني أبعاداً متفاوتة ففي القناة المستطيلة مثلاً يمكننا أن نزيد عرض قاع القناة على حساب العمق.

وعندما يكون المقطع مركباً يمكن تجزئته إلى مقاطع متجانسة الشكل ويكون التدفق المار في القناة مساوياً لمجموع التدفقات المارة في القسم الأوسط وفي القسمين الجانبيين الشكل.



الشكل (2-4) المقطع المركب

$$Q = A_1\ V_1 + A_2\ V_2 + \cdots + A_N\ V_N$$
$$Q = \sum Q_i \qquad (25\text{-}2)$$

أما المعادلات المستخدمة للحل فهي:

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

ومعادلة الاستمرار $Q = A\ V$

لحل مسألة ما يجب أن يكون هناك كميتين مجهوليتين فقط وذلك حتى يمكن إيجاد حل للمسألة.

فإذا اخترنا المقطع شبه المنحرف كمثال للمسائل الهيدروليكية الأساسية أثناء تصميم الأقنية المكشوفة، نجد أن معطيات التصميم تتحدد من خلال:

1) الأبعاد الهندسية للمقطع المائي وهي: عرض القناة من الأسفل (b) وميل الجوانب m وعمق الماء في القناة y.

2) عامل الخشونة n والميل الطولي للقناة J والتدفق المطلوب تمريره خلال القناة Q.

سوف ندرس الآن الحالات المختلفة التي يمكن أن نصادفها أثناء تصميم الأقنية المكشوفة. حيث يمكن تصنيف جميع الحالات إلى نوعين رئيسين من المسائل.

1) **النوع الأول:** يعطى في هذا النوع من المسائل الأبعاد الهندسة للمقطع المائي (b,y,m) وضمن هذا النوع من الممكن أن نصاف نماذج عدة نذكر منها:

❖ **النموذج** (1)

تعطي الأبعاد الهندسية للمقطع المائي (b,m,y) كما يعطى ميل قاعدة القناة J وعامل الخشونة n ويطلب تحديد التدفق المار في القناة Q.

الحل:

- نحدد في البداية سطح المقطع المائي A والمحيط المبلول بالعلاقات الآتية:

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

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

- نحدد نصف القطر الهيدروليكي

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

- نحدد ثابت شيزي C بإحدى العلاقات المناسبة.
- نحدد السرعة الوسطية للجريان بعلاقة شيزي

$$V = C\sqrt{R_h\,J}$$

- نحدد التدفق بالعلاقة

$$Q = A\,V$$

❖ **النموذج** (2)

يعطى أبعاد المقطع المائي (b,y,m) ويعطى أيضاً عامل الخشونة n والتدفق Q ويطلب تحديد الميل الطولي للقناة J.

الحل:

- نحدد القيم (C , R_h , P, A) كما في النموذج (1).
- نحدد السرعة الوسطية للجريان من العلاقة

$$V = \frac{Q}{A}$$

- نحدد الميل الطولي للقناة من العلاقة:

$$J = \frac{V^2}{C^2\,R_h}$$

2) **النوع الثاني:** يعطى في هذا النوع من المسائل المواصفات الهيدروليكية للمقطع المائي (Q, J , n) كما يعطى ميل الجوانب m ويطلب تحديد عمق الماء في القناة y أو عرض القناة في الأسفل b. وضمن هذا النوع من المسائل يمكن أن نصادف النماذج التالية:

❖ **النموذج** (1)

يعطى في هذه الحالة المواصفات الهيدروليكية للمقطع المائي كما ذكرنا سابقاً وعرض القناة من الأسفل b ويعطى أيضاً ميل جوانب القناة m

الحل

- نحدد في البداية أمثال التدفق بالعلاقة

$$K = \frac{Q}{\sqrt{J}}$$

- نعطي لعمق الماء عدة قيم مفترضة ونحدد في كل حالة من هذه الحالات قيم K المقابلة $K = f(y)$
- نرسم المنحني $K = f(y)$
- نضع على المنحني قيمة K التي حصلنا عليها من شروط المسألة ونحدد عمق الماء المقابل لها والذي يؤمن التدفق المطلوب.
- أو البحث عن قيمة y التي تؤمن قيمة التدفق المطلوب بالتقريب المتتالي.

❖ **النموذج** (2)

يعطى في هذه الحالة المواصفات الهيدروليكية للمقطع المائي (Q,y,J) ويعطى أيضاً m ويطلب تحديد عرض القناة من الأسفل b.

الحل:

- نحدد أمثال التدفق المطلوب بالعلاقة

$$K = \frac{Q}{\sqrt{J}}$$

- نعطي عرض القناة من الأسفل عدة قيم مقترحة ونحدد أمثال التدفق المقابل لكل قيمة من هذه القيم $K = f(b)$.
- نرسم المنحني $K = f(b)$.

- نضع قيمة K والتي حددت من معطيات المسألة مع المنحني المذكور ونحصل على العرض b المطلوب والذي يمرر التدفق المطلوب في المسألة تحديداً.
- أو البحث عن قيمة b الي تؤمن التدفق المطلوب بالتقريب المتتالي.

6-2 السرعة العظمى والسرعة الدنيا للجريان في الأقنية المكشوفة:

تحدد السرعة الوسطية V للجريان في الأقنية المكشوفة على أن تكون أقل من السرعة العظمى V_{max} المسموح بها وأكبر من السرعة الصغرى V_{min} المسموح بها في الأقنية المكشوفة.

$$V_{min} < V < V_{max}$$

أقل سرعة مسموح بها هي السرعة التي ستبقي الرواسب في حالة عالقة في القناة ولا تسمح بترسيب الطمي في القناة. إنها أيضاً السرعة التي لا تؤدي إلى نمو النباتات المائية والطحالب في القناة. وهذه الظروف تغير شكل مقطع القناة العرضي وتسبب انحرافاً للجريان عن القيمة التصميمية المحسوبة من معادلة الجريان المنتظم.إن القيمة المقبولة عادة كأقل سرعة مسموح بها تتراوح من $0.6 - 0.9\ m/s$.

بتطبيق معادلة الجريان المنتظم ،مثل معادلة مانينغ ، يتبين ان سرعة الجريان تعتمد على ميل قاع القناة. أي عملياً، إن ميل قاع القناة يعتمد على تضاريس السطح التي تمر فوقها القناة. ويجب التأكد من أن الميل في المقاطع المنتظمة يسمح بأقل سرعة مسموح بها.

ومن الممكن تحديد قيمة السرعة الدنيا المسموح بها في الأقنية المكشوفة بحيث لا تسمح بحدوث ترسبات للمواد العالقة في المياه وتتعلق هذه السرعة بنوعية وكمية المواد المحمولة وبعمق غزارة المياه، بعلاقة تجريبية من الشكل:

$$V_{min} = a.y^{0.64} \qquad (26\text{-}2)$$

حيث:

a: ثابت يتعلق بنوع المواد المحمولة في المياه وتعطى قيمتها في الجدول (2-4).

y : عمق الماء في القناة. V_{min} : السرعة الدنيا المقدرة.

وبشكل عام يمكن تحديد السرعة الدنيا V_{min} في الأقنية:

1- للماء الحاوي على جزيئات صغيرة جداً $V_{min} \geq 0.25\ m/sec$

2- للماء الحاوي على رمال $V_{min} \geq 0.5\,m/sec$

جدول (2-4) قيمة الثابتa

	المواد المحمولة في المياه	**الثابت** a
1	طمي خفيف مع رمل ناعم جداً	0.4
2	رمل ناعم d=0.4mm	0.55
3	رمل متوسط القطر	0.63
4	رمل خشن	0.9
5	رمل ذو قطر كبير نسبياً	0.67

قد يسمح في بعض الأحيان والحالات الخاصة بأن تكون سرعة الجريان الوسطية في القناة أصغر من السرعة الدنيا المسموح بها وفي مثل هذه الحالات يجب إجراء تنظيف دوري ومستمر للقناة من المواد المترسبة بها.

تحدد السرعة العظمى المسموح بها V_{max} بحيث لا تحدث عملية جرف وحت لجدران القناة غير المكسوة أو لا يحدث تخريب لكسوة القناة. إن السرعة العظمى تعتمد على نوع تربة أو تكسية القناة، حيث هناك علاقات تجريبية تحدد قيمة السرعة العظمى في الأقنية المشكوفة والجدول (2-5) يحدد عمود قيمة السرعة العظمى في الأقنية المكشوفة بحسب مادة جدران وقاع القناة.

أما إذا كانت سرعة الجريان أكبر من السرعة العظمى المسموح بها فيجب في هذه الحالة اتخاذ إجراءات هندسية لتحقيق الشرط التالي:

$$V \leq V_{max} \qquad (27\text{-}2)$$

الإجراءات المتخذة عادة لرفع قيمة السرعة العظمى المسموح بها V_{max} هي تكسية القناة بمواد البناء المختلفة.

أثناء تصميم الأقنية قد نحصل على قيم عالية للسرعة الوسطية للجريان، وذلك نتيجة للميول الكبيرة للأرض الطبيعية، في هذه الحالة نعمل على تخفيض قيمة هذه السرعة بطرق مختلفة وذلك بالاعتماد على علاقة شيزي والتي تكتب على النحو التالي:

$$V = C\sqrt{R_h\, J}$$

الجدول (2-5) قيمة السرعة العظمى في الأقنية المكشوفة

	نوع تربة القناة أو الكسوة	العمق الوسطي في القناة		
		1m	2m	3m
		V_{max} m/sec		
1	تربة القناة مؤلفة من رمال ذات حبيبات صغيرة	0.45	0.55	0.6
2	تربة القناة مؤلفة من رمال ذات حبيبات كبيرة	0.7	0.75	0.85
3	تربة القناة مؤلفة من الحصى الصغيرة	0.85	1	1.1
4	تربة القناة مؤلفة من الحصى الكبيرة	1.45	1.65	1.85
5	القناة مكساة بأحجار الرصف المتوسطة	3.8	4.3	4.65
6	القناة مكساة بأحجار قطرها يزيد عن 10cm	-	5.35	5. 5
7	تربة القناة من صخر كلسي	3.5	4.0	4.5
8	تربة القناة صخر متسع ذو بنية متحولة	18	20	22
9	تربة القناة من الطين متوسط التراخي أو الانضغاط	0.85	0. 95	1.1
10	تكسية بيتونية أو بيتون مسلح مع تنفيذ بيتون عادي السطح	7	8	9
11	تكسية مشابهة للبند 10 مع بيتون ماني	9	11	12
12	تكسية من حجر الرصف لطبقة الفلتر العاكس من الأحجار المتكسرة ذات سماكة 20cm	3.5	4.0	4.5
13	المجرى يحتوي على أشنيات ريشية أو قصبية	0.1	0.1	-
14	التكسية من التربة الحاوية على الأعشاب والجذور	1	1.2	1.4
15	تربة القناة تحتوي على حشائش مزروعة	0.6	0.7	0.8

إذا نظرنا إلى هذه العلاقة فإننا نلاحظ امكانية تخفيض السرعة الوسطية للجريان وذلك من الناحية المبدئية عبر الاحتمالات التالية:

1- **تخفيض قيمة نصف القطر الهيدروليكي:** تعطى قيمة نصف القطر الهيدروليكي بالعلاقة التالية $R_h = \frac{A}{P}$ لذا نلاحظ من هذه العلاقة أن إنقاص قيمة R_h يتم إما بإنقاص سطح المقطع المائي أو بزيادة المحيط المبلول P وهذا لا يمكن الحصول عليه عملياً لأن أية زيادة أو نقصان لسطح المقطع المائي ستتبعه بالضرورة زيادة أو نقصان للمحيط المبلول بالنسبة نفسها تقريباً وبالتالي لا نستطيع عملياً الحصول على نتائج ملموسة عبر هذا الحل.

2- **إنقاص قيمة ثابت شيزي** C: يعطى ثابت شيزي C بعلاقات تجريبية كما أسلفنا سابقاً ومن أهمها علاقة مانينغ $C = \frac{1}{n} R_h^{1/6}$

يلاحظ من العلاقة أن إنقاص قيمة ثابت شيزي يتم نظرياً بزيادة قيمة عامل الخشونة n وهذا يستدعي عملياً تغيير نوع التربة المشكلة للقناة أو تغير نوع التكسية التي تغطي القناة وهذا الحل مكلف من الناحية الاقتصادية وغير عملي.

3- **تخفيض قيمة الميل الطولي للقناة** J: يتم تخفيض قيمة الميل الطولي للقناة عن طريق انشاء ما يسمى بالمدارج المائية على المقطع الطولي للقناة.

1-6-2 الاقنية القابلة للحت بدون ترسيب:

يمكن دراسة هذه الاقنية على مبدأ السرع الحدية ، الاصغرية أو الاعظمية التي ذكرناها في الفقرة(2-5). الا انه يمكن أيضاً عمل هذه الدراسة معتمدين على مبدأ القوة الجارة كما يلي:

عنما يجري الماء في قناة تؤثر باتجاه الجريان على سرير القناة. تسمى هذه القوة بالقوة الجارة أو قوة القص. في الجريان المنتظم تساوي قوة الجر الى مركبة قوة الثقالة المؤثرة على كتلة الماء باتجاه مواز لارضية القناة وتساوي $\gamma A L J$ (كما راينا في الفقرة 2-2). وبالتالي فان القيمة الوسطية لقوة الجر في وحدة السطح المبلول أو جهد القص على طول المحيط المبلول يساوي:

$$\tau = \frac{\gamma A L J}{P L} = \gamma R_h J \qquad (28\text{-}2)$$

حيث: γ :الوزن النوعي للماء.

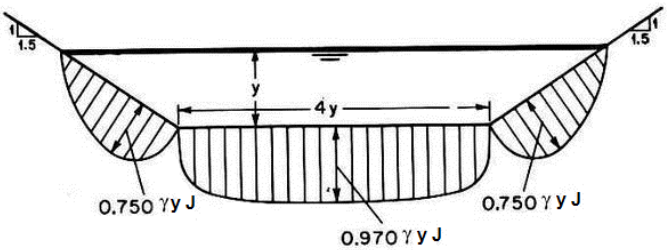
R_h :نصف القطر الهيدروليكي.

في قناة مكشوفة عريضة جداً يمكن اعتبار أن نصف القطر الهيدروليكي يساوي للعمق وبالتالي:

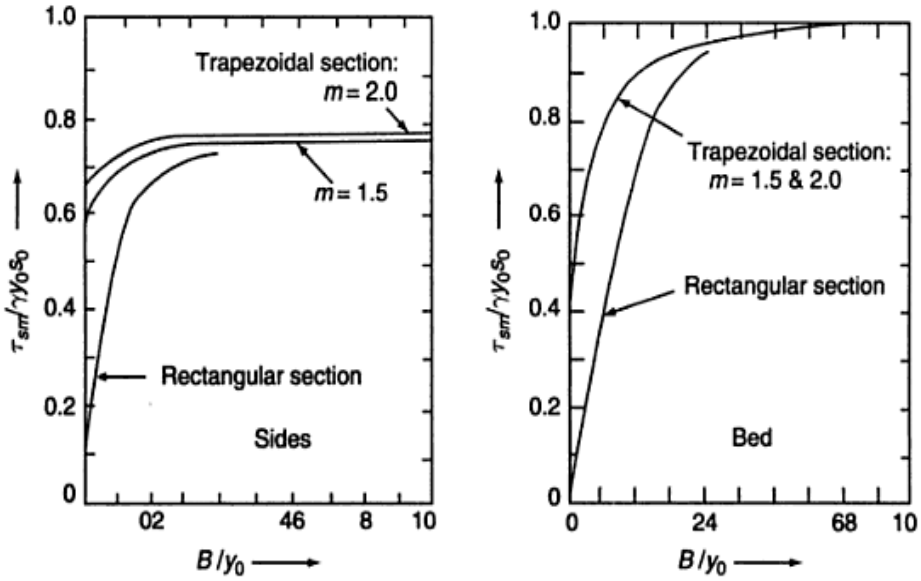
$$\tau = \gamma y J \qquad (29\text{-}2)$$

نلفت النظر إلى أن القوة الجارة الواحدية τ ليست موزعة بانتظام على طول المحيط المبلول، ماعدا في حالة الاقنية العريضة جداً. يبين الشكل (2-5) توزيعاً نموذجياً للقوة الجارة في قناة ذات مقطع شبه منحرف. يتعلق شكل التوزيع مع شكل المقطع ولكنه لايتغير عملياً مع أبعاد المقطع.

نتيجة لعدة دراسات تجريبية أمكن وضع منحنيات الشكل (2-6) تعطي قيمة القوة الجارة الواحدية الاعظمية على الجوانب وعلى القعر. بصورة عامة من أجل أقنية ذات مقطع شبه منحرف المستعمل عادة ،تصل القيمة الاعظمية للقوة الجارة على القعر الى قيمة قريبة من $0.97\gamma y J$ وعلى الجوانب الى قيمة قريبة من $0.75\gamma y J$



الشكل (2-5)



الشكل (2-6)

نسبة القوى الجارة:

على كل جزيئة صلبة موجودة على الجانب المائل للقناة الشكل (2-7) التي يجري فيها الماء. تؤثر قوتان: قوة الجر $a\ \tau$ ومركبة قوة الثقالة (الوزن) $W_s \sin\varphi$ التي تسعى لدحرجة الجزيئة الصلبة لأسفل المنحدر.

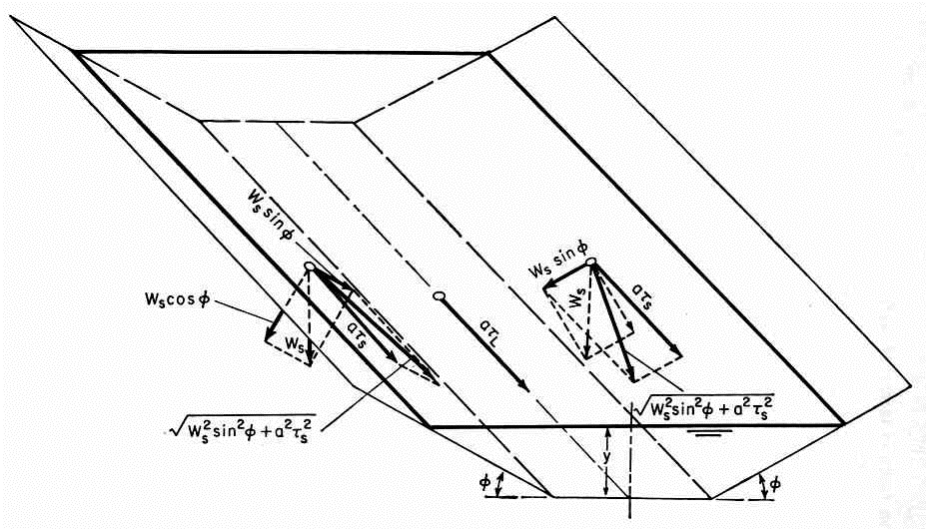
حيث: a:السطح الفعال للجزيئة. W_s :الوزن المغمور للجزيئة.

W_s :زاوية ميل الجوانب.

محصلة هاتين القوتين المتعامدتين تساوي:

$$\sqrt{W_s^2 \sin^2\varphi + a^2\tau^2} \qquad (30\text{-}2)$$

عندما تكون هذه القوة كبيرة بشكل كاف تتحرك الجزيئة الصلبة.



الشكل (2-7)

حسب مبدأ الحركة والاحتكاك في الميكانيك يمكن أن نفرض أن قوة المقاومة لحركة الجزيء مساو للقوة النسبية للحركة عند بدء الحركة. ان قوة المقاومة لحركة الجزيئة تساوي للقوة الناظمية $\cos\varphi$ ، مضروبة بأمثال الاحتكاك أو $tg\,\theta$ حيث θ هي زاوية الاحتكاك. وبالتالي:

$$W_s \cos\varphi\, tg\theta = \sqrt{W_s^2 \sin^2\varphi + a^2\tau^2} \qquad (31\text{-}2)$$

التي نستنتج منها قيمة القوة الجارة الواحدية التي تسبب بدء الحركة:

$$\tau_s = \frac{W_s}{a} \cos\varphi\, tg\,\theta \sqrt{1 - \frac{tg^2\varphi}{tg^2\theta}} \qquad (32\text{-}2)$$

بنفس الطريقة، عندما تبدأ الجزيئة الصلبة بالحركة على القعر $(\varphi = 0)$ نتيجة القوة الجارة $a\,\tau L$ نستنتج:

$$\tau_L = \frac{W_s}{a}\, tg\,\theta \qquad (33\text{-}2)$$

إن نسبة τ_s الى τ_L تدعى نسبة القوى الجارة.

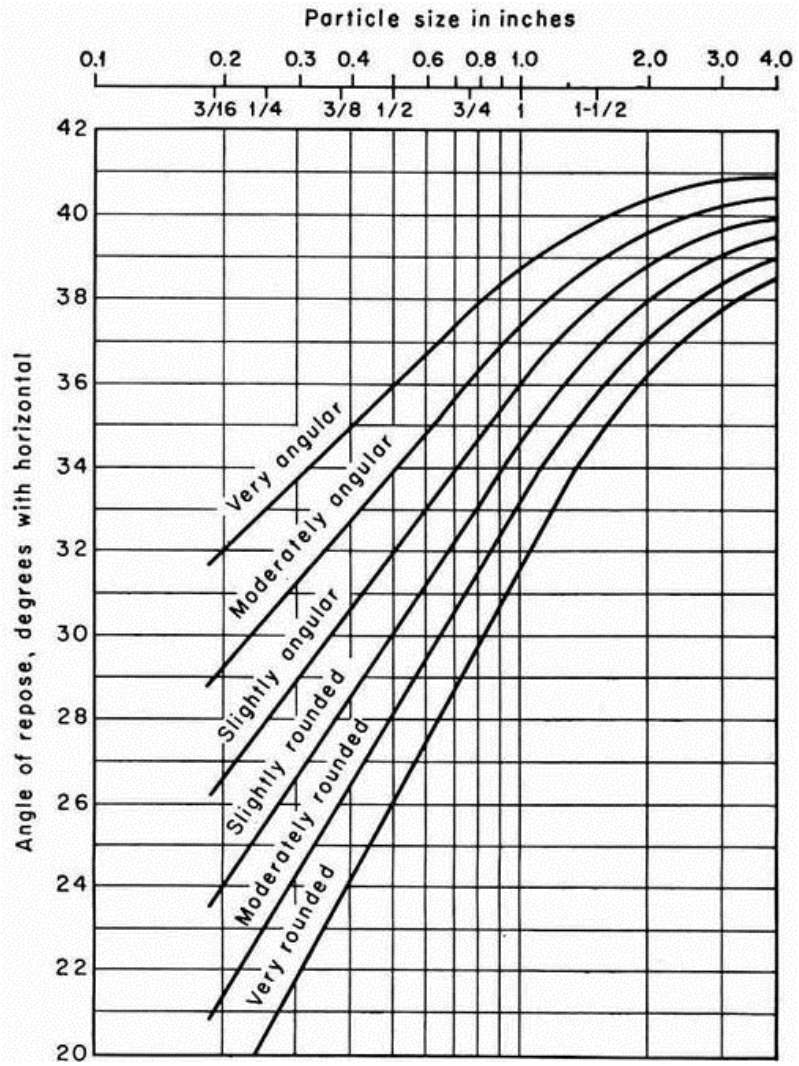
من العلاقتين (2-32) و(2-33) نستنتج قيمة هذه النسبة χ :

$$\chi = \frac{\tau_s}{\tau_L} = tg\,\theta \sqrt{1 - \frac{tg^2\varphi}{tg^2\theta}}$$

التي بعد الاختصار تصبح:

$$\chi = \sqrt{1 - \frac{tg^2\varphi}{tg^2\theta}} \qquad (34\text{-}2)$$

نرى من هذه العلاقة ان النسبة χ تتبع فقط ميل الجوانب وزاوية الراحة للمواد θ من أجل المواد المتماسكة تكون قوى التماسك كبيرة بالنسبة لمركبة الثقالة التي تسبب دحرجة الجزيئات بحيث يمكن اهمال الثقالة. وبالتالي تؤخذ زاوية الراحة للمواد بعين الاعتبار فقط في حالة المواد غير المتماسكة. نبين في الشكل (2-8) منحنيات تغير الزاوية θ تبعاً لقطر الحبيبات وشكلها.



الشكل (2-8)

القوة الجارة المسموح بها:

القوة الجارة المسموح بها هي القيمة الاعظمية للقوة الجارة الواحدية التي لا تسبب حتاً هاماً للمواد المشكلة لسرير القناة. يمكن تحديد هذه القيمة بالتجارب المخبرية وتسمى القيم التي تنتج عن هذه التجارب القوة الجارة الحرجة. ولكن بينت التجربة أن الاقنية الحقيقية المنشأة من مواد خشنة غير متماسكة تتحمل قيماً أكبر من القيم الحرجة للقوة الجارة المقاسة في المختبر ويعود ذلك لاحتواء الماء والتربة كمية من الكولوئيد والمواد العضوية التي تسبب شيئاً من التماسك كما أنه يمكن قبول وجود حركة ضعيفة للمواد في الاقنية الحقيقية دون أن يؤدي ذلك الى خطر في استقرار القناة. بما أن القيمة المسموح بها للقوة الجارة هي معيار للشروط الحقلية فيمكن أن تعتبر القيمة المسموح بها أصغر من القيمة الحرجة.

تطبيق طريقة القوة الجارة:

ان الخطوة الاولى لتصميم قناة ترابية بطريقة القوة الجارة تتألف من اختيار مقطع تقريبي (تعتمد على خبرة المصمم)، جمع عينات من المواد المشكلة لسرير القناة، وتعيين خواص هذه العينات. من هذه المعطيات يمكن للمصمم أن يفحص هذا المقطع للتأكد من استقراره على كل قسم من القناة ولتعيين المقطع الاصغري الذي يظهر مستقراً. اذا كانت المواد غير متماسكة يجب الاخذ بعين الاعتبار تأثير المركبة اتي تدحرج المواد بالإضافة الى تأثير توزيع القوى الجارة. من أجل الاقنية المشكلة من مواد متماسكة يمكن اهمال تأثير المركبة المدحرجة والاكتفاء بتوزيع القوى الجارة كمعيار للتصميم. ان الاختيار النهائي لأبعاد المقطع يعتمد اخيراً على اعتبارات عملية (غير هيدروليكية).

7-2 تصميم المقطع الأفضل هيدروليكياً Design for the best hydraulic section:

يمكن أثناء التصميم الهيدروليكي للأقنية أن نختار مقاطع عرضية مختلفة، فمثلاً نستطيع أن نغير من عمق القناة ومن عرضها وكذلك نستطيع أن نغير من الميل الطولي للقناة مع المحافظة على المواصفات الهيدروليكية المطلوبة. وفي النهاية فإننا نختار المقطع الأقل كلفة من الناحية الاقتصادية والأسهل تنفيذاً في الإنشاء والأفضل أثناء الاستثمار. ولذلك فإننا عادةً ما نجري مقارنة فنية اقتصادية لحلول مختلفة ونختار منها الحل الأفضل فنياً واقتصادياً.

لإمرار تدفق معين Q في مقطع قناة يجب على هذا المقطع أن يخضع إلى الشروط الآتية:

1- عرض أقل ما يمكن: سهولة الصيانة، فاقد بالتسرب أقل، تكاليف حفريات أقل.

2- مقطع أصغر ما يمكن: لإنقاص حجم الحفريات والكلفة الكلية للمشروع.

3- محيط مبلول أصغر ما يمكن: لإقلال كلفة الإكساء.

4- جعل المقطع بحيث تكون السرعة ليست صغيرة جداً لتجنب ترسب المواد العالقة ولا كبيرة جداً لتجنب الحت.

إذا عدنا إلى معادلة التدفق:

$$Q = C\,A\,\sqrt{R_A\ j} = \frac{1}{n} A\,R_h^{2/3}\,J^{1/2} = K\,J^{1/2}$$

تبين أن التدفق يزداد بزيادة أمثال التدفق K لمقطع الجريان والتي تزيد بدورها بزيادة نصف القطر الهيدروليكي R_h أي بزيادة مساحة مقطع الجريان A أو بنقصان طول المحيط المبلول P.

لمقطع جريان له مساحة محددة وله شكل هندسي محدد على شكل مستطيل مثلاً مساحته $A = b\,y$ يمكن اختيار عدد لا نهائي من المقاطع لها نفس الشكل الهندسي (المستطيل) ونفس المساحة وتختلف فيما بينها في قيمة كل من y و b ، أي في قيمة النسبة b/y. بين هذه المقاطع كلها يوجد مقطع واحد فقط يمتلك أقل قيمة لطول المحيط المبلول. هذا المقطع بالتالي يمتلك قيمة أكبر لنصف القطر الهيدروليكي وبالتالي فهو الذي يمرر أكبر تدفق بين هذه المقاطع كلها. يعرف هذا المقطع بأنه المقطع الأفضل هيدروليكياً أو الأكثر اقتصاديةً.

أي أن المقطع الأفضل هيدروليكياً لقناة ذات شكل هندسي محدد ومساحة مقطعها معلومة، يعرف بأنه المقطع الذي يمرر أكبر تدفق ممكن أو المقطع الذي يمتلك أقل طول للمحيط المبلول. فما هو الشرط اللازم حتى يكون مقطع الجريان هو الأفضل هيدروليكاً؟

يعطى التدفق بالعلاقة:

$$Q = A\ V = C\ A\ \sqrt{R_h\ J} = C\ A\ \sqrt{\frac{A}{P}\ J}$$

$$Q = C\ \sqrt{J}\ (\frac{A^3}{P})^{1/2} = K\ (\frac{A^3}{P})^{1/2}$$

نحصل على التدفق الأعظمي في الحالة العامة بوضع $\frac{dQ}{dy} = 0$ أي:

$$d(\frac{A^3}{P})^{1/2} = 0$$

أو:

$$\frac{3A^2 dA\ P - dP\ A^3}{P^2} = 0$$

$$3A^2 dA\ P - dP\ A^3 = 0$$

بالتقسيم على A^2 نحصل على المعادلة العامة التي تعطي شرط حدوث التدفق الأعظمي وهي:

$$3P\ dA - dP\ A = 0 \qquad (35\text{-}2)$$

إذا انطلقنا من معادلة التدفق بالاعتماد على معادلة مانينغ بدلاً من شيزي نجد:

$$Q = \frac{1}{n} A\ R_h^{2/3}\ J = K\ A \frac{A^{2/3}}{P^{2/3}} = K\ \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

وبالتالي يكون التدفق أعظمياً عندما:

$$\frac{dQ}{dy} = 0 \Rightarrow d(\frac{A^{2/3}}{P^{2/3}}) = 0 \Rightarrow d(\frac{A^5}{P^2}) = 0$$

$$\frac{5A^4 dA\ P^2 - 2P\ dP\ A^5}{P^4} = 0$$

ويصبح لدينا:

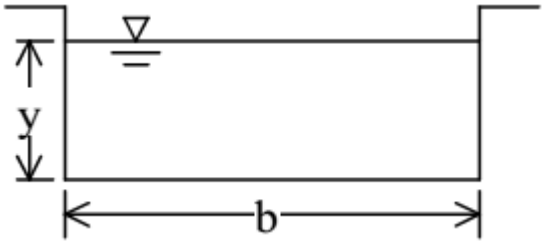
$$5P\ dA - 2\ dP\ A = 0 \qquad (36\text{-}2)$$

لنستعرض فيما يلي أمثلة على طريقة تحديد المقطع الأفضل هيدروليكياً إذا كان الشكل الهندسي للمقطع معلوم:

1-7-2 **مقطع مستطيل**

من أجل أن يعطي مقطع ثابت A تدفقاً أعظمياً نضع dA=0 في العلاقة السابقة فينتج أن dP=0 أي أن المحيط المبلول يجب أن يكون أصغر ما يمكن.

نحسب P بدلالة عرض القناة b أو عمق القناة y ثم نعدم المشتق dP فنستخرج العلاقة بين b و y التي تحقق التدفق الأعظمي الشكل (2-9).



الشكل (2-9) مقطع مستطيل

إن مساحة المقطع لقناة مستطيلة المقطع:

$$A = b\,y \Rightarrow b = \frac{A}{y}$$

$$P = b + 2\,y$$

بالتعويض نجد:

$$P = \frac{A}{y} + 2\,y \qquad (37\text{-}2)$$

وحتى يكون المقطع أفضلياً نضع:

$$\frac{dP}{dy} = 0$$

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

$$\frac{b\,y}{y^2} = 2$$

$$b = 2\,y$$

وبالتالي يصبح:

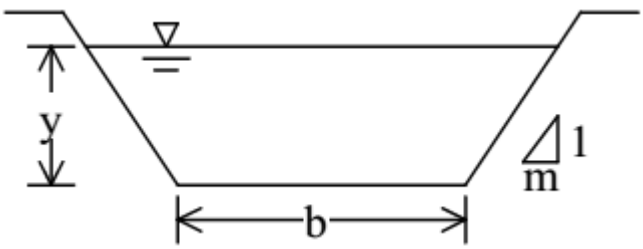
$$b = 2\,y$$
$$A = 2\,y^2$$
$$T = b \qquad (38\text{-}2)$$
$$P = 2\,y + 2\,y = 4\,y$$
$$R_h = \frac{y}{2}$$

أي حتى يكون المقطع المستطيل الأفضل هيدروليكياً يجب أن يكون عرض القناة يساوي ضعف ارتفاع الماء في القناة.

2-7-2 قناة ذات مقطع شبه منحرف

تعطى أبعاد المقطع الموضح بالشكل (2-10)، وبالتالي يكون:

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



الشكل (2-10) مقطع شبه منحرف

ولكي يكون هذا المقطع أفضلياً ويعطي أكبر تدفق ممكن من أجل مقطع ثابت $A = cte$ أي $dA = 0$ فيجب أن يكون المحيط المبلول أصغرياً $dP = 0$ ومن علاقة المقطع نجد:

$$b = \frac{A}{y} - m\,y \qquad (39\text{-}2)$$

بالتعويض في علاقة P

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

نرمز ب λ للمقدار $2\sqrt{1+m^2} - m$ فتصبح المعادلة الأخيرة على الشكل:

$$P = \frac{A}{y} + \lambda\, y \qquad (40\text{-}2)$$

فيكون:

$$\frac{dP}{dy} = 0 \Rightarrow -\frac{A}{y^2} + \lambda = 0 \qquad (41\text{-}2)$$
$$A = \lambda\, y^2$$

نعوض في معادلة b السابقة فيصبح:

$$b = \frac{\lambda\, y^2}{y} - m\, y = \lambda\, y - m\, y \qquad (42\text{-}2)$$
$$b = (\lambda - m)\, y$$

نعوض b في معادلة P فيكون:

$$P = \frac{\lambda\, y^2}{y} + \lambda\, y = 2\,\lambda\, y \qquad (43\text{-}2)$$

ومنه فإن نصف القطر الهيدروليكي في المقطع الثابت كي يعطي أعظم تدفق ممكن يساوي:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{y}{2} \qquad (44\text{-}2)$$

نلاحظ أن المقطع المستطيل يمثل حالة خاصة من المقطع شبه المنحرف حيث $\theta = 90^\circ$ وبالتالي $m = 0$ حيث $\lambda = 2$ وبالتالي $b = 2\,y$

نلاحظ اننا في العلاقات السابقة لعناصر المقطع الأفضلي بأننا لم نتعرض إلى زاوية ميل جوانب القناة θ على الأفق، أي انه من أجل كل قيمة لميل الجوانب θ $(3^o, 45^o\ 60^{o,}, 70^o, ...)$ بحيث تبقى المساحة المائية A ثابتة هنالك تدفق أعظمي يحدث إذا تحققت العلاقة $b = (\lambda - m)\, y$ بين y, b .

على أن هناك قيمة معينة لـ θ يكون عندها التدفق أكبر من أية قيمة أعظمية أخرى وندعو المقطع عندئذ بالمقطع الأفضلي الاقتصادي most economical section مع الإبقاء على المساحة الثابتة، ونحصل على تلك القيمة لـ θ كما يلي:

تبين العلاقة $R_h = \frac{y}{2}$ بأن R_h يكون أعظمياً إذا كانت y أعظمية في المقطع ذي المساحة A الثابتة والذي يحقق علاقات المقطع الاقتصادي وتكون y أعظمية عندما يكون λ أصغر ما يمكن كما تشير إلى ذلك العلاقة السابقة $A = \lambda\, y^2$ إذن:

نشتق المقدار λ بالنسبة لـ θ ونجعل المشتق صفراً فيكون:

وجدنا سابقاً أننا اعتبرنا

$$\lambda = 2\sqrt{1+m^2} - m$$

$$\lambda = 2\sqrt{1+\frac{\cos^2\theta}{\sin^2\theta}} - \frac{\cos\theta}{\sin\theta} = \frac{2}{\sin\theta} - \frac{\cos\theta}{\sin\theta}$$

$$\lambda = \frac{2-\cos\theta}{\sin\theta}$$

فيكون:

$$\frac{dy}{d\theta} = \frac{\sin^2\theta - \cos\theta(2-\cos\theta)}{\sin^2\theta} = 0$$

$$\sin^2\theta - 2\cos\theta + \cos^2\theta = 0 \qquad (45\text{-}2)$$

$$1 - 2\cos\theta = 0$$

$$\cos\theta = 0.5 \Rightarrow \theta = 60^\circ$$

أي يكون في المقطع الذي تميل جدرانه بزاوية $\theta = 60^\circ$:

$$\begin{aligned} &\lambda = 1.732 \\ &A = 1.732\, y^2 \\ &b = 0.828\, y \\ &P = 3\, b \end{aligned} \qquad (46\text{-}2)$$

ملاحظات على المقطع الافضلي الاقتصادي لشبه المنحرف:

وجدنا أن:

$$P = \lambda\, y^2 = \left(2\sqrt{1+m^2} - m\right) y^2 = \left(b + m\, y\right) y \qquad (47\text{-}2)$$

فينتج:

$$2\,y\sqrt{1+m^2}-m\,y=b+m\,y$$
$$y\sqrt{1+m^2}=\frac{b}{2}+m\,y=\frac{T}{2} \qquad (48\text{-}2)$$

وهذا يعني أن نصف طول السطح الحر يساوي طول الجانب المائل للمقطع ، وبما أن الزاوية $\theta=60^\circ$ تكون $m=\frac{1}{\sqrt{3}}$

بالتطبيق نجد:

$$y\sqrt{1+\frac{1}{3}}=\frac{b}{2}+\frac{y}{\sqrt{3}}$$
$$\frac{2\,y}{\sqrt{3}}=\frac{b}{2}+\frac{y}{\sqrt{3}} \qquad (49\text{-}2)$$
$$\frac{b}{2}=\frac{2\,y}{\sqrt{3}}-\frac{y}{\sqrt{3}}$$

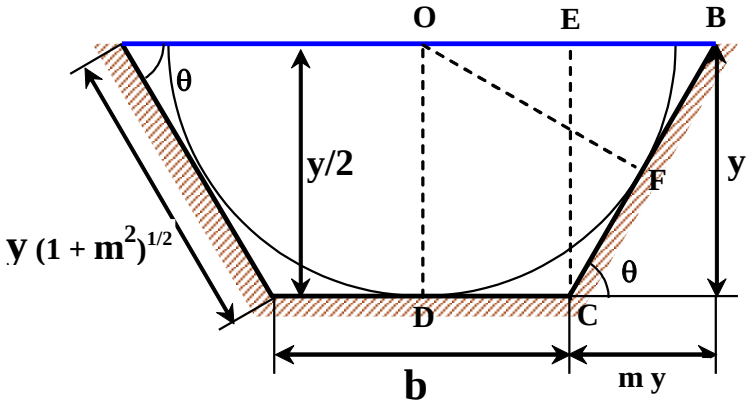
وتكون:

$$b=\frac{2\,y}{\sqrt{3}}$$

وبما ان طول الجانب المائل مقداره

$$y\sqrt{1+m^2}=\frac{2\,y}{\sqrt{3}}=b \qquad (50\text{-}2)$$

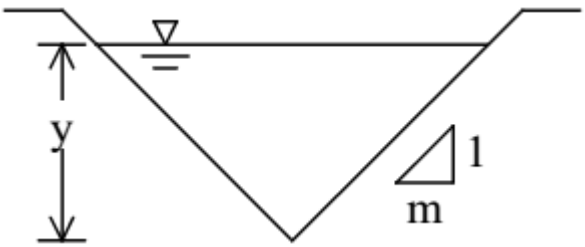
أي أن هذا المقطع الأفضل هيدروليكياً هو هندسياً عبارة عن شكل نصف مسدس حيث يمكن رسم هذا المقطع مماساً لدائرة قطرها ينطبق على السطح الحر للماء كما هو واضح بالشكل (2-11) .



الشكل (2-11) المقطع الاقتصادي

3-7-2 قناة ذات مقطع مثلثي:

يبين الشكل (2-12) مقطع مثلثي حيث يكون هذا المقطع أفضلياً ويعطي أكبر تدفق ممكن من أجل مقطع ثابت $A = cte$ أي $dA = 0$ فيجب أن يكون المحيط المبلول أصغرياً $dP = 0$:



الشكل (2-12) مقطع مثلثي

$$A = \lambda\, y^2 \quad \Rightarrow \quad y = \sqrt{\frac{A}{m}} \qquad (51\text{-}2)$$

$$P = 2\, y \sqrt{1 + m^2} \qquad (52\text{-}2)$$

نعوض قيمة y في علاقة المحيط المبلول فيكون:

$$P = 2\sqrt{\frac{A}{m}}\sqrt{1+m^2} = 2\sqrt{A}\left(\frac{1+m^2}{m}\right)^{1/2}$$

$$\frac{dP}{dm} = 0 \qquad (53\text{-}2)$$

$$2\sqrt{A}\left(\frac{1+m^2}{m}\right)^{-1/2}\left(\frac{2m^2-1-m^2}{m^2}\right) = 0$$

$$m^2 - 1 = 0 \qquad m = 1$$

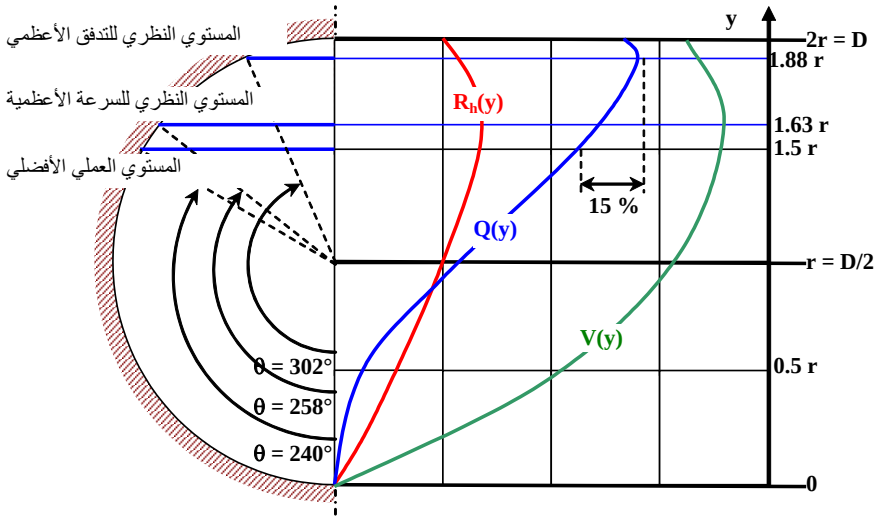
ولكن:

$$m = 1$$

$$\cot g\,\theta = 1 \qquad \Rightarrow \qquad \theta = 45^o \qquad (54\text{-}2)$$

4-7-2 قناة ذات مقطع دائري:

في هذه الحالة سنفتش عن ارتفاع الماء y في قناة دائرية المقطع ذات نصف قطر ثابت r الذي يعطي أعظم تدفق ممكن الشكل (13-2). أي سنعين زاوية القوس المبلل θ الموافقة للتدفق الاعظمي.



الشكل (13-2) المقطع الدائري

وقد وجدنا أن حدوث التدفق الأعظمي باستخدام ثابت شيزي هو:

$$3P\,dA - dP\,A = 0$$

من أجل $r = cte$ ينتج:

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) \qquad (55\text{-}2)$$

$$dA = \frac{r^2}{2}(1 - \cos\theta)\, d\theta \qquad (56\text{-}2)$$

المحيط المبلول:

$$P = r\,\theta$$
$$dP = r\, d\theta \qquad (57\text{-}2)$$

بالتعويض في المعادلة العامة للمقطع الافضلي لشيزي

$$3\, r\, \theta \frac{r^2}{2}(1 - \cos\theta) - \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta)\, r = 0$$
$$2\,\theta - 3\,\theta\cos\theta + \sin\theta = 0 \qquad (58\text{-}2)$$

وهي التي تعطي الزاوية θ للقوس المبلل الموافقة للتدفق الأعظمي في القناة ذات القطر الثابت $D = 2\,r$. تحل هذه المعادلة بالتجريب فينتج:

$$\theta = 308^{o} \qquad (59\text{-}2)$$

ويكون ارتفاع الماء الموافق لأعظم تدفق في المقطع الدائري:

$$y = r + r\cos\left(\frac{2\,\pi - \theta}{2}\right) = r + r\cos\left(\pi - \frac{\theta}{2}\right)$$
$$y = r\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right) \qquad (60\text{-}2)$$

$$y = 0.95\, D \qquad (61\text{-}2)$$

بالتعويض في المعادلة العامة للمقطع الافضلي لمانينغ

$$5P\, dA - 2\, dP\, A = 0$$

نجد:

$$5\, r\, \theta \frac{r^2}{2}(1 - \cos\theta) - 2\,\frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta)\, r = 0$$
$$3\,\theta - 5\,\theta\cos\theta + 2\sin\theta = 0 \qquad (62\text{-}2)$$

بالتجريب:

$$\theta = 302^{o}\ 20'$$
$$y = 0.938\, D \qquad (63\text{-}2)$$

ينقص التدفق في القناة فوق هذا الارتفاع كما يظهر في الشكل لأنه بزيادة y يزداد المحيط المبلول، إن الزيادة الحاصلة في المحيط المبلول هي أكبر من الزيادة الحاصلة في سطح المقطع المائي وهذا يؤدي لنقصان السرعة لزيادة الاحتكاك.

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

أما نقصان التدفق فيمكننا تفسيره بالاعتماد على معادلة الاستمرار $Q = A\,V$

إن الزيادة الحاصلة في المقطع المائي A هو أقل من النقصان الحاصل في السرعة وبالتالي فإن ذلك يؤدي إلى نقصان التدفق.

عملياً نأخذ $\theta = 240^o$ بدلاً من $\theta = 308^o$ لدرء احتمال انسداد المقطع المائي بالأجسام الطافية التي قد تكون محمولة بالمياه مما قد يسبب انغلاق المقطع المائي وتحويل الجريان من مكشوف الى مضغوط.

من أجل $\theta = 240^o$ يكون $y = 0.75\,D$ وتمثل هذه الأبعاد التصميم العملي للأنابيب الدائرية.

تجدر الملاحظة بان ارتفاع الماء الموافق لأعظم تدفق في القناة ليس هو الارتفاع الموافق لأعظم سرعة لان زيادة θ لا تزيد دوماً قيمة V.

لتكون السرعة أعظمية يجب ان يكون R_h أعظمياً كما تظهر العلاقة التالية:

$$V = C\sqrt{R_h\,J} = C\sqrt{J}\sqrt{\left(\frac{A}{P}\right)} \qquad (64\text{-}2)$$

أي:

$$d\left(\frac{R_h}{d\theta}\right) = d\left(\frac{A/p}{d\theta}\right) = 0 \qquad (65\text{-}2)$$

$$P\,dA - dP\,A = 0$$

نجد:

$$r\,\theta\,\frac{r^2}{2}(1-\cos\theta)-\frac{r^2}{2}(\theta-\sin\theta)\,r=0$$

$$\theta-\theta\cos\theta=\theta-\sin\theta \qquad (66\text{-}2)$$

$$\mathrm{tg}\,\theta=\theta$$

بالتجريب:

$$\theta=257^{\circ}\,5' \qquad (67\text{-}2)$$

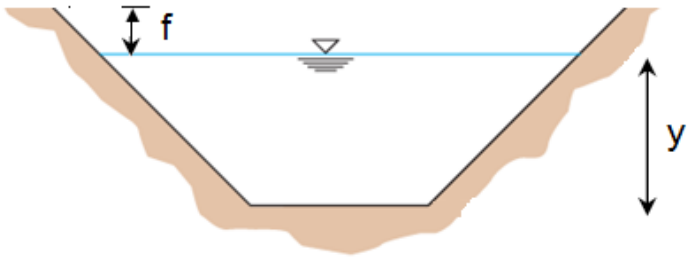
$$y=0.81\,D$$

إن الشكل النصف دائري هو الأفضل هيدروليكياً من بين كل الاشكال الهندسية للأقنية المكشوفة. في مناطق محددة من العالم ،تكون المقاطع النصف دائرية والدائرية هي السائدة وهي السمة الواضحة لمشاريع الري الكبيرة، فيما تبدو مقاطع شبه المنحرف هي المستخدمة بسبب سهولة الانشاء.

إن اختيار التصميم على مبدأ المقطع الافضلي الامثل يطبق فقط على الاقنية الغير قابلة للانجراف، اما التصميمات للأقنية المشيدة بمواد قابلة للحت أو الانجراف فيجب أن تأخذ في الاعتبار السرعة العظمى لإبقاء القناة مستقرة.

8-2 الارتفاع الحر:

الارتفاع الحر للماء في قناة مكشوفة هو المسافة الشاقولية بين قمة اكتاف القناة وسطح الماء الشكل (2-14). يجب أن يكون هذا الارتفاع كافياً لتجنب انسكاب الماء من الجوانب ويرمز له ب f.



الشكل (2-14) الارتفاع الحر

وقد نصح دافيس اعتبار الارتفاع الحر بالقيمة التالية:

$$f = 0.30 + 0.25\,y \qquad (68\text{-}2)$$

وذلك من أجل: $y < 4\,m$

ولكن هناك دراسات أخرى اعتبرت القيم التالية:

- من أجل الاقنية الترابية

$$f = 0.8\,V\sqrt{y} \qquad (69\text{-}2)$$

- من أجل الاقنية المكساة

$$f = 0.5\,V\sqrt{y} \qquad (70\text{-}2)$$

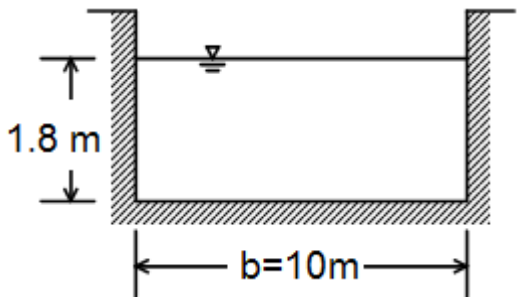
وذلك باعتبار V سرعة الماء في القناة و y عمق الماء

تطبيقات الفصل الثاني

تطبيق (1-2)

قناة ذات مقطع مستطيل مبين بالشكل المجاور ميلها الطولي $J = 0.001$ والمطلوب إيجاد التدفق باعتماد عامل كيتر–مانينغ–بازان–بافلوفسكي.

الحل



$$A = b\ y = 10 \times 1.8 = 18\ m^2$$

$$P = b + 2\ y = 10 + 2 \times 1.8 = 13.6\ m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{18}{13.6} = 1.32m$$

- تبعاً Kutter فإن $n = 0.16$ وبالتالي:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \left[23 + \frac{0.00155}{J}\right]\frac{n}{\sqrt{R_h}}} = 65.67\ m^{1/2}/sec$$

ويكون التدفق:

$$Q = C\ A.\sqrt{R_h\ J} = 65.67 \times 18 \times \sqrt{1.32 \times 11 \times 10^{-5}} = 14.24\ m^3/sec$$

- تبعاً لـBasim يكون: $m = 0.45$ وبالتالي:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R_h}}} = \frac{87}{1 + \frac{0.45}{\sqrt{1.32}}} = 62.51\ m^{1/2}/sec$$

ويكون التدفق:

$$Q = C\ A.\sqrt{R_h\ J} = 62.51 \times 18 \times \sqrt{1.32 \times 11 \times 10^{-5}} = 13.56\ m^3/sec$$

- تبعاً لـ Manning يكون $n = 0.016$ وبالتالي يكون:

$$C = \frac{1}{n} R_h^{1/6} = \frac{1}{0.016} \times 1.32^{1/6} = 65.46\ m^{1/2}/sec$$

ويكون التدفق:

$$Q = C\ A.\sqrt{R_h\ J} = 65.46 \times 18 \times \sqrt{1.32 \times 11 \times 10^{-5}} = 14.2\ m^3/sec$$

- تبعاً لـ Pavlovski يكون $n = 0.016$ وبالتالي يكون:

$$C = \frac{1}{n} R_h^{y^*}$$

$$y^* = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R_h} \times (\sqrt{n} - 0.1)$$

$$y^* = 2.5\sqrt{0.016} - 0.13 - 0.75\sqrt{1.32} \times (\sqrt{0.016} - 0.1) = 0.163$$

$$C = \frac{1}{n} R_h^{y^*} = \frac{1}{0.016} \times 1.32^{0.163} = 65.4 m^{1/2}/sec$$

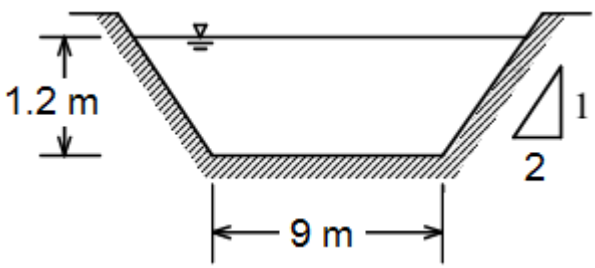
ويكون التدفق:

$$Q = C\ A.\sqrt{R_h\ J} = 65.4 \times 18 \times \sqrt{1.32 \times 11 \times 10^{-5}} = 14.18\ m^3/sec$$

تطبيق (2-2)

قناة ذات شكل شبه منحرف تمرر تدفقاً قدره $Q = 16.5 m^3/sec$ فإذا علمت أن عامل شيزي $C = 49.5$ وأن معدل ميل الجوانب $m = 2$ فالمطلوب إيجاد الميل الطولي للقناة ومعامل الخشونة مانينغ n.

الحل



$$A = b\,y + m\,y^2 = 13.68\,m^2$$

$$P = b + 2\,y\sqrt{1+m^2} = 12.75m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{13.68}{12.75} = 1.07m$$

$$Q = C\,A\sqrt{R_h\,J}$$

$$16.5 = 49.5 \times 13.68 \times \sqrt{1.07 \times J} \Rightarrow J = 5.5 \times 10^{-4}$$

$$C = \sqrt{\frac{8\,g}{\psi}}$$

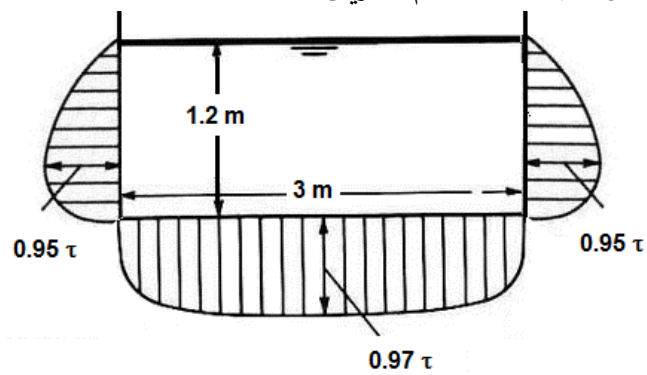
$$49.5 = \sqrt{\frac{8 \times 9.81}{\psi}} \Rightarrow \psi = 0.032$$

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

$$49.5 = \frac{1}{n} \times (1.07)^{1/6} \Rightarrow n = 0.02\ sec/\,m^{1/3}$$

تطبيق (3-2)

يبين الشكل المجاور قناة ذات مقطع مستطيل موضحاً نسبة قيمة جهد القص على الجدران من قيمة جهد القص المتوسط فإذا علمت أن $J = 0.001$ وثابت شيزي $C = 70$ واللزوجة الحركية $\nu = 10^{-6} m^2/sec$ فالمطلوب حساب قيمة جهد القص على القاعدة والجدران الجانبية وتحديد طبيعة نظام الجريان.



الحل

$$A = b\,y = 3 \times 1.2 = 3.6\,m^2$$

$$P = b + 2\,y = 3 + 2 \times 1.2 = 5.4\,m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{3.6}{5.4} = 0.667$$

$$\tau = \gamma\ R_h\ J$$

$$\tau = 9810 \times 0.667 \times 0.001 = 6.54\ N/m^2$$

إجهاد القص على الجدران الجانبية:

$$0.75\ \tau = 0.75 \times 6.54 = 4.9\ N/m^2$$

إجهاد القص على القاعدة:

$$0.98\ \tau = 0.98 \times 6.54 = 6.4\ N/m^2$$

لتحديد طبيعة نظام الجريان نحسب ثابت رينولدس على الشكل التالي:

$$V = C\sqrt{R_h\ J} = 70 \times \sqrt{0.667 \times 0.001} = 1.81\ m/sec$$

$$R_e = \frac{V\ R_h}{\nu} = \frac{1.81 \times 0.667}{10^{-6}} = 1.2 \times 10^6 > 2000$$

وبالتالي الجريان مضطرب

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\ y_m}} = \frac{V}{\sqrt{g\ \frac{A}{T}}} = \frac{V}{\sqrt{g\ y}} = \frac{1.81}{\sqrt{9.81 \times 1.2}}$$

$$F_r = 0.53 < 1$$

وبالتالي الجريان نهري

تطبيق (2-4)

قناة ذات مقطع مستطيل تمرر تدفقاً قدره $Q = 12 m^3/sec$ فإذا علمت أن اللزوجة الحركية للسائل $\nu = 10^{-6} m^2/sec$ فالمطلوب إيجاد نظام الجريان من أجل أعماق جريان $2\ m, 1\ m, 0.3\ m$

الحل

$$A = b\ y = 0.3 \times 3 = 0.9\ m^2$$

$$P = b + 2\ y = 3 + 2 \times 0.3 = 3.6\ m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{0.9}{3.6} = 0.25\ m$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12}{0.9} = 13.33\ m/sec$$

$$R_e = \frac{V\,R_h}{\nu} = \frac{13.33 \times 0.25}{10^{-6}} = 3.3 \times 10^{-3} > 2000$$

وبالتالي الجريان مضطرب

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}} = \frac{V}{\sqrt{g\,\frac{A}{T}}} = \frac{V}{\sqrt{g\,y}}$$

$$F_r = \frac{13.33}{\sqrt{9.81 \times 0.3}} = 7.75 > 1$$

وبالتالي الجريان شلالي.

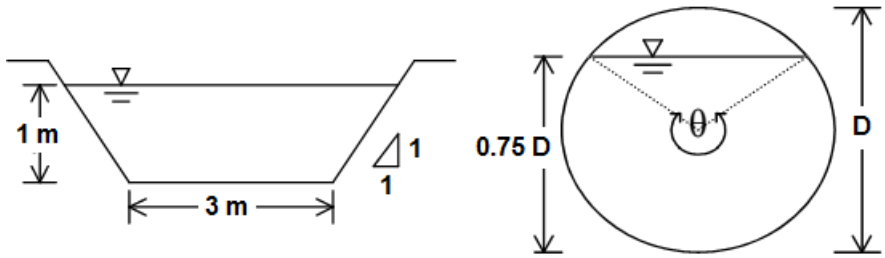
بنفس الطريقة تتم إعادة الحساب من أجل أعماق الجريان فتكون النتائج على الشكل التالي:

y	A	P	R_h	V	R_e	F_r	R_e
0.3	0.9	3.6	0.25	13.33	3.3×10^5	7.75	**جريان مضطرب شلالي**
1	3	5	0.6	4	2.4×10^6	1.27	**جريان مضطرب شلالي**
2	6	7	0.857	2	1.7×10^6	0.45	**جريان مضطرب نهري**

تطبيق (5-2)

قناة مكشوفة على شكل شبه منحرف عرض قاعدتها $b = 3\,m$ ومعدل ميل الجوانب $m = 1$ والميل الطولي للقناة $J = 0.001$ يجري فيها الماء جرياناً منتظماً بعمق $y = 1\,m$

ينقل التدفق بواسطة قناة دائرية مغلقة لها نفس الميل الطولي والمطلوب: حساب قطر القناة اللازم حتى يمر فيها التدفق فيها بعمق $y = 0.75\,D$ علماً أن أمثال الخشونة للقناة الأولى $n_1 = 0.025$ وللقناة الثانية $n_2 = 0.013$.



الحل

من معطيات المسألة بالنسبة للقناة شبه المنحرفة نقوم بحساب قيمة التدفق المار في القناة الدائرية باعتبار التدفق نفسه وفقاً لمعطيات المسألة:

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

$$A = b\,h + m\,h^2 = 3\times 1 + 1\times (1)^2 = 4\,m^2$$

$$P = b + 2\,h\sqrt{1+m^2} = 3 + 2\times 1\times \sqrt{2} = 5.828\,m$$

$$Q = \frac{1}{0.025}\times 4\times (\frac{4}{5.828})^{2/3}\times \sqrt{0.001} = 3.937\ m^3/sec$$

الآن نكتب بالنسبة للمقطع الدائري:

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta)$$

$$P = r\,\theta$$

$$y = r\,(1-\cos\frac{\theta}{2})$$

$$0.75\,D = \frac{D}{2}(1-\cos\frac{\theta}{2}) \quad \Rightarrow \quad 1.5 = 1-\cos\frac{\theta}{2} \quad \Rightarrow \quad \theta = \frac{4}{3}\pi$$

يحصل التدفق الأعظمي في المقطع الدائري عندما يكون $y = 0.95\,D$ أي من أجل $\theta = 308^\circ$ ولكن عملياً لدرء احتمال انسداد المقطع المائي بالأجسام الطافية التي قد تكون محمولة بالمياه، فيتحول بالتالي الجريان إلى جريان مضغوط. لذلك تؤخذ عملياً $\theta = 240^\circ$

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

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) = \frac{r^2}{2}(\frac{4}{3}\pi - \sin\frac{4}{3}\pi) = 2.527\, r^2$$

$$P = r\frac{4}{3}\pi \qquad\qquad R_h = \frac{A}{P} = 0.603\, r$$

$$3.937 = \frac{1}{0.013} \times 2.527\, r^2 \times (0.603\, r)^{2/3} \times \sqrt{0.001}$$

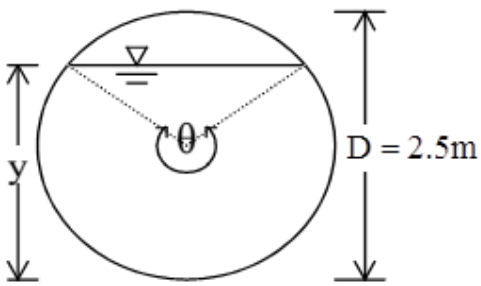
$$r^{8/3} = 0.897 \quad \Rightarrow r = 0.96\ m$$

$$D = 1.92 \quad m$$

تطبيق (6-2)

يمر تدفق قدره $Q = 6.86 m^3/sec$ في قناة ذات مقطع دائري ميلها الطولي $J = 0.00082$ وأمثال خشونتها $n = 0.013$ والمطلوب: حساب ارتفاع الماء في القناة باعتبار قطر القناة $D = 2.5m$

الحل



يعطى التدفق حسب علاقة مانينغ بالعلاقة:

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

حيث:

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) = 0.781(\theta - \sin\theta)$$

$$P = r\,\theta = 1.25\theta$$

$$y = r\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow \theta = 2\arccos(1 - \frac{y}{r})$$

يتم الحل بالتجريب بفرض قيم لـ y ومن ثم حساب قيم θ وتعويضها في معادلة التدفق حيث نجد أن: $y = 1.8m$

تطبيق (7-2)

قناة مكشوفة ذات مقطع دائري قطرها $1\,m$ الميل الطولي للقاع 14×10^{-5} ومعامل مانينغ لها 0.02 يمر بها جريان منتظم بأعماق مختلفة وتدفقات مختلفة.

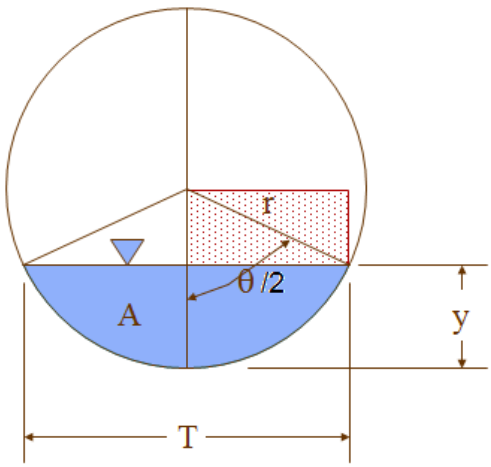
1- احسب بطريقة رياضية قيم اعماق الجريان التي توافق قيم نصف القطر الهيدروليكي والسرعة المتوسطة والتدفق الأعظمي (باعتبار ثابت مانينغ).

2- عين قيمة تدفق القناة وسرعتها الوسطية عندما يكون المقطع بكامله مملوءاً V_f , Q_f .

3- عين قيم التدفق والسرعة الوسطية من أجل ارتفاعات مائية في القناة متغيرة كل $5\,cm$ من أجل $y = 0.1 \rightarrow 1$ وعين ارتفاع الماء الموافق لكل من التدفق الأعظمي والسرعة الوسطية ونصف القطر الهيدروليكي الأعظمي في المقطع.

4- ارسم مخططات تعطي تحولات قيم التدفقات النسبية $\frac{Q}{Q_f}$ والسرعة النسبية $\frac{V}{V_f}$ ، $\frac{R_h}{R_{hf}}$ ، $\frac{A}{A_f}$ ، $\frac{P}{P_f}$ بدلالة الارتفاع النسبي $\frac{y}{d}$ لهذه القناة.

الحل:



نفرض عمق الجريان y فتكون مساحة المقطع المائي

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) \qquad (1)$$

المحيط المبلول:

$$P = r\,\theta \qquad (2)$$

نصف القطر الهيدروليكي:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{r}{2}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right) \qquad (3)$$

ارتفاع الماء في المقطع الدائري:

$$y = r\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right) \qquad (4)$$

السرعة المتوسطة V يمكن حسابها من معادلة مانينغ

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

$$V = 0.592\, R_h^{2/3} \qquad (5)$$

ويحسب التدفق من معادلة الاستمرار:

$$Q = A\,V = 0.592\, A\, R_h^{2/3} \qquad (6)$$

تحديد قيمة y الموافقة لقيمة $R_{h\,max}$

أقصى قيمة لنصف القطر الهيدروليكي $R_{h\,max}$ تكون عندما: $\frac{dR_h}{d\theta} = 0$

من العلاقة (3) نجد أن:

$$\frac{dR_h}{d\theta} = \frac{d}{d\theta}\left[\frac{r}{2}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)\right] = -\frac{r}{2}\,\frac{\theta(\cos\theta) - \sin\theta}{\theta^2} = 0$$

$$\theta\cos\theta = \sin\theta$$

$$\theta = tg\theta$$

بحل المعادلة بالتجريب نج أنها تتحقق من أجل:

$$\theta = 257.453'$$

من العلاقة (4) نجد أن:

$$y = r\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right) = 0.813\ m$$

تحديد قيمة y الموافقة لقيمة V_{max}

من العلاقة (3) و(5) نجد أن:

$$V = 0.592\, R_h^{2/3}$$

$$V = 0.592\,(0.5r)^{2/3}\left(1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right)^{2/3}$$

$$V = 0.235\left(1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right)^{2/3}$$

ومنها نجد أن أقصى قيمة للسرعة المتوسطة تحدث عندما $\frac{dV}{d\theta} = 0$

من العلاقة (3) نجد أن:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{2}{3}\times 0.235\left(\frac{1}{\left(1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right)}\right)\left(-\frac{\theta(\cos\theta)-\sin\theta}{\theta^2}\right) = 0$$

$$\theta\cos\theta = \sin\theta$$

$$\theta = tg\theta$$

بحل المعادلة بالتجريب نجد أنها تتحقق من أجل:

$$\theta = 257.453'$$

من العلاقة (4) نجد أن:

$$y = r\left(1-\cos\frac{\theta}{2}\right) = 0.813\ m$$

تحديد قيمة y الموافقة لقيمة Q_{max}

من العلاقة (6) نجد أن:

$$Q = A\,V = 0.592\,A\,R_h^{2/3}$$

ومنها نجد أن أقصى قيمة للتدفق تحدث عندما

$$\frac{dQ}{d\theta} = 0$$

$$\frac{d}{d\theta}\left(\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}\right) = 0$$

وبالاختصار نجد أن $\frac{dQ}{d\theta} = 0$ عندما تكون:

$$3\theta - 5\theta\cos\theta + 2\sin\theta = 0$$

تحل المعادلة بالتجريب

$$\theta = 302.41'$$

من العلاقة (4) نجد أن:

$$y = r\left(1-\cos\frac{\theta}{2}\right) = 0.938\ m$$

نحسب عناصر المقطع الملئ:

$$A_f = \pi r^2 = 0.785\ m^2$$
$$P_f = 2\pi r = 3.14\ m$$
$$R_{hf} = \frac{r}{2} = 0.25\ m$$

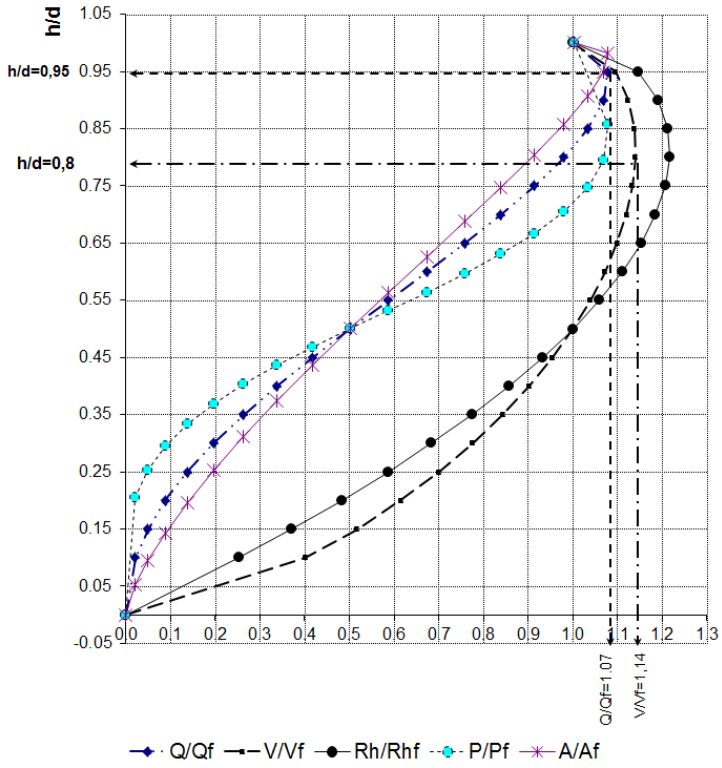
فتكون قيمة السرعة عندما يكون المقطع ملئ

$$V_f = \frac{1}{0.02} \times (0.25)^{2/3} \sqrt{14 \times 10^{-5}} = 0.235\ m/s$$

وقيمة التدفق عندما يكون المقطع ملئ $Q_f = A_f\ V_f = 0.785 \times 0.235 = 0.184\ m^3/s$

ننظم جدول لإيجاد القيم المميزة باعتبار

$$V = 0.592\ R_h^{2/3}$$
$$Q = A\ V = 0.592\ A\ R_h^{2/3}$$
$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{y}{r}\right)$$



y/d	y/r	teta(rad)	A	P	Rh	Rh2/3	V	Q	A/Af	P/Pf	Rh/Rhf	V/Vf	Q/Qf
0	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.2	1.29	0.041	0.644	0.064	0.1592	0.094	0.004	0.052	0.205	0.254	0.401	0.021
0.15	0.3	1.59	0.074	0.795	0.093	0.2051	0.121	0.009	0.094	0.253	0.372	0.517	0.049
0.2	0.4	1.85	0.112	0.927	0.121	0.2441	0.144	0.016	0.142	0.295	0.482	0.615	0.088
0.25	0.5	2.09	0.154	1.047	0.147	0.2781	0.165	0.025	0.196	0.334	0.587	0.700	0.137
0.3	0.6	2.32	0.198	1.159	0.171	0.3080	0.182	0.036	0.252	0.369	0.684	0.776	0.196
0.35	0.7	2.53	0.245	1.266	0.193	0.3345	0.198	0.049	0.312	0.403	0.774	0.843	0.264
0.4	0.8	2.74	0.293	1.369	0.214	0.3580	0.212	0.062	0.374	0.436	0.857	0.902	0.338
0.45	0.9	2.94	0.343	1.471	0.233	0.3787	0.224	0.077	0.437	0.468	0.932	0.954	0.418
0.5	1	3.14	0.393	1.571	0.250	0.3969	0.235	0.092	0.500	0.500	1.000	1.000	0.501
0.55	1.1	3.34	0.443	1.671	0.265	0.4125	0.244	0.108	0.564	0.532	1.060	1.039	0.587
0.6	1.2	3.54	0.492	1.772	0.278	0.4256	0.252	0.124	0.627	0.564	1.111	1.072	0.674
0.65	1.3	3.75	0.540	1.875	0.288	0.4363	0.258	0.140	0.688	0.597	1.153	1.099	0.759
0.7	1.4	3.96	0.587	1.982	0.296	0.4444	0.263	0.154	0.748	0.631	1.185	1.119	0.840
0.75	1.5	4.19	0.632	2.094	0.302	0.4498	0.266	0.168	0.805	0.667	1.207	1.133	0.914
0.8	1.6	4.43	0.674	2.214	0.304	0.4523	0.268	0.180	0.858	0.705	1.217	1.139	0.980
0.85	1.7	4.69	0.712	2.346	0.303	0.4514	0.267	0.190	0.906	0.747	1.213	1.137	1.033
0.9	1.8	5.00	0.745	2.498	0.298	0.4462	0.264	0.197	0.948	0.796	1.192	1.124	1.069
0.95	1.9	5.38	0.771	2.691	0.286	0.4345	0.257	0.198	0.982	0.857	1.146	1.095	1.078
1	2	6.28	0.785	3.142	0.250	0.3969	0.235	0.185	1.001	1.001	1.000	1.000	1.003

يبين الشكل بأنه يمكن تعيين التدفق الجزئي والسرعة الجزئية بالنسبة لأي مقطع دائري من أجل أي ارتفاع للماء في المقطع وذلك بالاستفادة من المخطط المذكور وبعد تعيين القيم الموافقة للمقطع المليء أي أن لهذا المخطط قيمة عملية مفيدة في التصميم.

تطبيق (2-8)

يستخدم مصرف فرعي قطره $d = 150\,mm$ من شبكة صرف صحي في مدينة وذلك لتصرف مياه الفضلات المنزلية من حي سكني فيه 250 منزلاً. المصرف من الفخار المزجج معامل خشونة مانينغ $n = 0.015$ وميله الطولي 0.01. الاستهلاك المائي للفرد الواحد يساوي 200 ليتراً في اليوم الواحد وهو ما يدعى بجريان الطقس الجاف dwf، والكثافة السكانية تعادل 3.5 نسمة لكل منزل. والمطلوب التحقق من كفاءة المصرف المذكور.

الحل:

إمكانية المصرف على التصريف وهو ملآناً:

$$V_f = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J^{1/2} = \frac{1}{0.015}\left(\frac{0.15}{4}\right)^{0.66} \times (0.01)^{1/2} = 0.76\,m/s$$

$$Q_f = V_f\ A_f = 0.76 \times \frac{3.14 \times (0.15)^2}{4} = 0.013\,m^3/s = 13\,L/s$$

إمكانية التصريف الاعظمي للمصرف عند الارتفاع $y = 0.95\,d$ أو ما يدعى باستيعاب المصرف:

$$Q_{max} = Q_f \times 1.06 = 0.013 \times 1.06 = 13.8\,L/s$$

تصمم عادة مصارف مياه الفضلات المنزلية (أو ما يدعى بالمياه المالحة) بحيث تستوعب حوالي 6 أضعاف قيمة جريان الطقس الجاف وتحقق السرعة الدنيا من أجل قيمة للتدفق تساوي 2 مرة تصريف الطقس الجاف:

$$Q_P = 2\,dwf = \frac{2 \times 250 \times 3.5 \times 200}{24 \times 3600} = 13\,L/s$$

وبالتالي:

$$\frac{Q_P}{Q_f} = \frac{4.05}{13} = 0.31\,L/s$$

ومن المخطط السابق تنتج قيمة $\frac{y}{d}$ الموافقة:

$$\frac{y}{d} = 0.38 \rightarrow y = 0.38 \times 0.15 = 0.057\ m = 57\ mm$$

$$\frac{V_P}{V_f} = 0.89 \rightarrow V_P = 0.89 \times 0.76 = 0.68\ m/s > 0.6\ mm/s$$

أي ان السرعة التصميمية في الطقس الجاف تزيد عن السرعة الدنيا لمنع حدوث الترسبات $(0.5\ mm/s)$.

تحقيق التصريف الاقصى: $6 \times dwf = 12.15\ L/s < 13.8\ L/s$

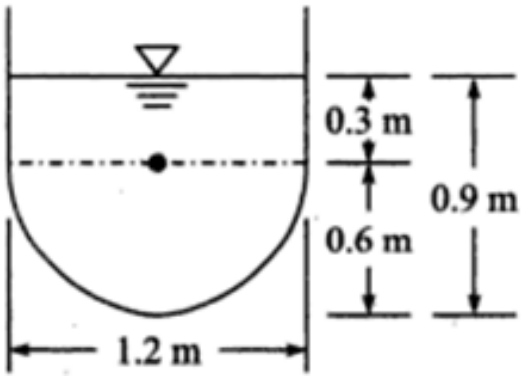
أي ان المصرف مقبول نظراً لأن استيعابه على التصريف أكبر من التصريف الأقصى المطلوب.

ملاحظة:

عادة نزيد قطر المصرف لاستيعاب التصريف الأقصى المطلوب من أجل ارتفاع يساوي $y = 0.75\ d$ بدلاً من $y = 0.95\ d$ كما ذكرنا سابقاً لدرء احتمال انسداد المصرف بالأجسام الطافية المنقولة بمياه الفضلات ونقبل في تصميم شبكات الصرف قطراً أدنى بمقدار $200\ mm$ ، وفي هذه الحالات نزيد الميل الطولي للمصرف كي تكون السرعة الموافقة لجريان قدره تساوي أو تزيد عن سرعة التنظيف الذاتي للمصرف (أي السرعة التي لا تسمح بحدوث الترسبات وتقدر بحوالي $0.4 - 0.5\ m/s$

تطبيق (2-9)

أوجد قيمة التدفق المار في القناة المكشوفة ذات المقطع المبين بالشكل علماً ان الميل الطولي للقناة $J = 1/2500$ وأن ثابت شيزي $C = 54$



$$Q = c\,A\sqrt{R_h\,J}$$

$$A = 1.2\times 3 + 0.5\times\pi\,(0.6)^2 = 0.925\ m^2$$

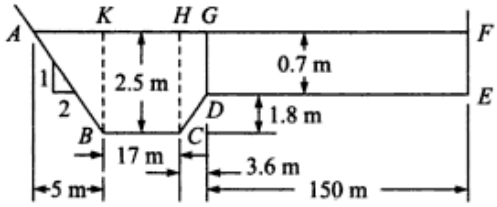
$$P = 0.3 + 0.3 + \pi\times 1.2/2 = 2.48\ m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{3.57}{5.4} = 0.372\ m$$

$$Q = C\,A\sqrt{R_h\,J} = 54\times 0.925\times\sqrt{0.372\times 1/2500} = 0.0693\ m^3/sec$$

تطبيق (2-10)

قناة عرضها من الأسفل 17 m، ميل الجانب 1شاقولي:2أفقي، يمتد ميل أحد الجوانب إلى ارتفاع 1.8 m ويمتد بعدها أفقياً إلى مسافة 150 m ويرتفع شاقولياً. إذا كان ميل القناة 1/2300، C=35، عمق القناة الرئيسية 2.5 m أوجد التدفق.



الحل:

$$A = ABK + KBCH + HEDG + GDEF$$

$$A = (\frac{1}{2}\times 5\times 2.5 + 17\times 2.5 + \frac{2.7+7}{2}\times 3.6 + 150\times 0.7) = 159.51\ m^2$$

$$P = AB + BC + CD + CE + EF$$

$$= (\sqrt{5^2+2.5^2} + 17 + \sqrt{3.6^2+1.8^2} + 150 + 0.7) = 177.315\ m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{159.51}{177.315} = 0.899m$$

$$Q = A\,C\sqrt{R\,s_b} = 159.51\times 35\times (0.899)^{1/2}\times\left(\frac{1}{2300}\right)^{1/2}$$

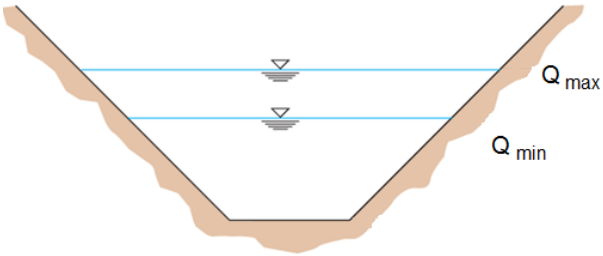
$$= 110.406\ m^3/s$$

تطبيق (2-11)

قناة ترابية شبه منحرفة ميلها الطولي $J = 0.001$ خشونتها $n = 0.027$ ، معدل الجوانب $m = 1.5$ السرعة العظمى المسموح بها لمنع الحت $V_{max} = 0.9\ m/sec$ والسرعة الصغري المسموحة لتجنب الترسبات $V_{min} = 0.4\ m/sec$ والمطلوب:

عين أبعاد المقطع المناسب لتمرر تدفق أعظمي قدره $Q_{max} = 5\ m^3/sec$ بينما تبلغ قيمة التدفق المعتاد الأصغري الذي يحدث في أغلبية الأوقات $Q_{min} = 0.3 m^3/sec$

الحل



بما أنه لم تفرض علينا أية أبعاد وطلب من ان نصمم أبعاد المقطع المناسب لنمرر أكبر تدفق نختار المقطع الأفضلي.

<u>الدراسة في حالة تدفق أعظمي:</u>

نبدأ بدراسة التدفق الأعظمي ونصمم أبعاد القناة (عرض القناة – ارتفاع الماء) ثم نأخذ نفس القناة لتمرر التدفق الأصغري أي نفس عرض القناة ولكن نحسب ارتفاع الماء في هذه الحالة ضمن الشروط المسموحة للسرعة العظمى والصغرى.

أبعاد المقطع الأفضلي

$$\lambda = 2\sqrt{1+m^2} - m = 2.106$$

$$A = \lambda\, y^2$$

$$R_h = \frac{y}{2}$$

$$Q = \frac{1}{n} A\, R_h^{2/3}\, J^{1/2} = \frac{1}{n} A\,(\lambda\, y^2)\,(y/2)^{2/3}\, J^{1/2} = \frac{1}{n}\lambda \frac{y^{8/3}}{2^{2/3}} J^{1/2}$$

$$y^{8/3} = \frac{n\,Q}{\lambda\sqrt{J}}\, 2^{2/3} \Rightarrow y = 2^{1/4}\left(\frac{n.Q}{\lambda\sqrt{J}}\right)^{3/8} = 1.55\ m$$

$$b = (\lambda - m)\, y = (0.606)\times 1.55 = 0.94\ m$$

$$A = 2.106\times(1.55)^2 = 5.06\ m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5}{5.06} = 0.99 m/sec > (V_{max} = 0.9 m/sec)$$

هذه السرعة أكبر من السرعة الأعظمية المسموحة ولكن بنسبة قليلة بحيث يمكن تصغيرها إلى السرعة المسموحة بتعديل المقطع (لا حاجة لتغيير الميل واحداث سقوط لنثبت السرعة بالقيمة المسموحة العظمى فيكون:

$$V = V_{max} = 0.9\ m/sec$$

$$A = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{5}{0.9} = 5.556\ m^2$$

ونختار معادلات المقطع العادي لشبه منحرف

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J^{1/2} \Rightarrow R_h = (\frac{n\ V}{\sqrt{J}})^{3/2} = 0.674\ m$$

$$R_h = \frac{A}{P} \Rightarrow P = \frac{A}{R_h} = \frac{3.634}{0.545} = 8.243m$$

$$A = (b + m\ y)\ y$$
$$5.556 = b\ y + 1.5\ y^2 \qquad (1)$$

$$P = b + 2\ y\ \sqrt{1+m^2}$$
$$8.243 = b + 3.606\ y \qquad (2)$$

من المعادلتين الأخيرتين نستنتج b و y فيكون:

$$b = 8.243 - 3.606\ y$$
$$5.556 = 8.243\ y - 3.606\ y^2 + 1.5\ y^2$$
$$2.106\ y^2 - 8.243\ y + 5.556 = 0$$

وهي معادلة من الدرجة الثانية بحلها:

$$b = 5.12\ m$$
$$y = 0.865\ m$$

الدراسة في حالة التدفق الأصغري كما يلي:

$$Q_{min} = 0.3\ m^3/sec$$

$$Q_{min} = \frac{1}{n} A\ R_h^{2/3} \sqrt{j}$$

$$0.3 = \frac{1}{0.027} A\ R_h^{2/3} \sqrt{0.001} = 1.171\ A\ R_h^{2/3}$$

لنحسب ارتفاع الماء الموافق لهذا التدفق

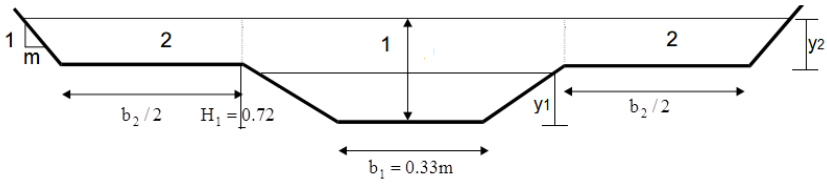
$$A = (b + m\ y)\ y$$
$$A = (5.12 + 1.5\ y)\ y$$
$$P = b + 2\ y\ \sqrt{1 + m^2}$$
$$P = 5.12 + 3.606\ y$$
$$R_h = \frac{A}{P}$$

بالتعويض والتجريب نجد أن:

$$y = 0.165\ m$$
$$b = 5.12\ m$$
$$A = 0.886\ m^2$$
$$V = \frac{Q_{min}}{A} = \frac{0.5}{0.886} = 0.34 m/sec < V_{min}$$

أي أن السرعة الناتجة أقل من القيمة الاصغرية المسموحة.

نختار للتغلب على هذه الصعوبة المقطع المزدوج المتناظر بحيث يصمم القسم المركزي حسب المقطع الأفضلي الموافق للتدفق الأصغري.



$$Q_{max} = 5\ m^3/sec$$
$$\lambda = 2\sqrt{1 + m^2} - m = 2.106$$
$$A_1 = \lambda\ y_1^2$$
$$R_h = \frac{y_1}{2}$$
$$Q = \frac{1}{n} A_1\ R_h^{2/3}\ J^{1/2} = \frac{1}{n} A_1\ (\lambda\ y_1^2)\ (y_1/2)^{2/3}\ J^{1/2} = \frac{1}{n}\ \lambda\ \frac{y^{8/3}}{2^{2/3}}\ J^{1/2}$$
$$y_1^{8/3} = \frac{n\ Q}{\lambda\ \sqrt{J}}\ 2^{2/3} \Rightarrow y_1 = 2^{1/4}\ (\frac{n.Q}{\lambda\ \sqrt{J}})^{3/8} = 0.54\ m$$
$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.3}{2.106\left(0.54\right)^2} = 0.49 m/sec > (V_{min} = 0.4\ m/sec)$$

والسرعة محققة.

الارتفاع الحر:

$$f_1 = 0.5 \times V_1 \times \sqrt{y_1} = 0.5 \times 0.49 \times \sqrt{0.54} = 0.18\ m$$

العمق الكلي للقسم المركزي:

$$H_1 = y_1 + f_1 = 0.54 + 0.18 = 0.72m$$

وتكون أبعاد القسم المركزي:

$$b_1 = (\lambda - m)\, y_1 = (2.106 - 1.5)\, 0.54 = 0.33m$$

أي:

$$b_1 = 0.33m \qquad H_1 = 0.72\ m$$

ندقق الآن المقطع من أجل التدفق الأعظمي

نعتبر أن عرض الجوانب فوق الارتفاع H_1 يساوي $b_2/2$ من كل طرف وارتفاع الماء y_2 فوق H_1 ونفرض نفس ميل الجوانب ومعامل الخشونة.

لندرس القسم المركزي(1):

عرض السطح الحر حتى منسوب H_1 هو

$$T_1 = b_1 + 2\ m\ H_1 = 0.33 + 0.72 \times 2 \times 1.5$$
$$T_1 = 2.49\ m$$

وتكون الأبعاد

$$A_1 = (b_1 + m\ H_1)\ H_1 + T_1\ y_2$$
$$A_1 = (0.33 + 1.5 \times 0.72)\ 0.72 + 2.49\ y_2$$
$$A_1 = 1.0152 + 2.49\ y_2$$
$$P_1 = b_1 + 2\ H_1\ \sqrt{1 + m^2} = 0.33 + 0.72 \times 2\ \sqrt{1 + (1.5)^2}$$
$$P_1 = 2.926\ m$$

ملاحظة: لا يجوز أن يتم الحساب وفق الشكل

$$A_1 = \lambda\ H_1^2 + T_1\ y_2$$
$$P_1 = 2\ \lambda\ H_1$$
$$T_1 = (\lambda + m)\ H_1$$

لأن المقطع أفضلي حتى حدود y_1 ولكن $H_1 = y_1 + f_1$ أصبح المقطع عادي.

سندرس الجزء (2) كمقطع شبه منحرف واحد.

$$A_2 = b_2\ y_2 + m\ y_2^2$$

$$A_2 = b_2\ y_2 + 1.5\ y_2^2$$

$$P_2 = b_2 + 2\ y_2\ \sqrt{1+m^2} = b_2 + 3.606\ y_2$$

التدفق الناتج في المقطع المركب ينتج عن جمع التدفقين في المقطعين (1) (2).

$$Q_{max} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{max} = \frac{1}{n} A_1\ R_{h1}^{2/3}\ J^{1/2} + \frac{1}{n} A_2\ R_{h2}^{2/3}\ J^{1/2}$$

$$Q_{max} = \frac{\sqrt{J}}{n}\left(A_1\ R_{h1}^{2/3} + \frac{1}{n} A_2\ R_{h2}^{2/3} \right)$$

$$A_1\ R_{h1}^{2/3} + \frac{1}{n} A_2\ R_{h2}^{2/3} = 4.269 \qquad (3)$$

تحتوي المعادلة على مجهولين y_2 و b_2 لذلك إما أن نفرض قيمة للعرض الاجمالي b_2 واستنتاج قيمة y_2 أو فرض قيمة y_2 واستنتاج b_2. عادة نفرض قيمة y_2 تتناسب مع الشروط المجاورة أو بفرض نسبة b_2 الى y_2.

لنفرض الشرط

$$b_2 = 6\ y_2$$

ينتج لدينا:

$$A_1 = 1.0152 + 2.49\ y_2$$

$$P_1 = 2.926\ m$$

$$A_2 = 6\ y_2^2 + 1.5\ y_2^2 = 7.5\ y_2^2$$

$$P_2 = 6\ y_2 + 3.606\ y_2 = 9.606\ y_2$$

بالتعويض في المعادلة (3) والتجريب نجد:

$$b_2 = 3.798m \qquad y_2 = 0.633\ m$$

لنحسب السرعة في المقطع (2)

$$V_2 = \frac{1}{n} R_{h2}^{2/3}\ J^{1/2}$$

$$V_2 = \frac{1}{0.027}\left(0.4942\right)^{2/3} \sqrt{0.001} = 0.732\ m/sec < V_{max} = 0.9\ m/sec$$

$$f_2 = 0.5\, V_2 \sqrt{y_2} = 0.291\, m$$

لنتأكد من السرعة الوسطية في كامل المقطع

$$V_m = \frac{Q}{A_1 + A_2} = \frac{5}{2.5914 + 3.0052} = 0.893\, m/sec < V_{max} = 0.9\, m/sec$$

وتحقق السرعة: $V_{min} < V \le V_{max}$

تطبيق (2-12)

قناة ذات مقطع شبه منحرف أفضلي معدل ميل الجوانب $m = 1$ يُطلب أن يمر تدفق $14 m^3/sec$ من خلال ميل طولي للقناة 0.001 وتكون قيمة ثابت شيزي $C = 45$ في حالة عدم تبطين القناة. أما في حال تم تبطين القناة بالبيتون فإن قيمة هذا الثابت ستكون $C = 70$ فإذا علمت أن كلفة المتر المكعب من الحفر عبارة عن ثلاث أضعاف كلفة تبطين المتر المربع فالمطلوب:

ما هو الأرخص: تبطين القناة أم لا؟

الحل: بما أن القناة ذات مقطع أفضلي نكتب:

$$\lambda = 2\sqrt{1 + m^2} - m = 2\sqrt{1+1} = 1.828$$

$$A = \lambda\, y^2 = 1.828\, y^2$$

$$P = 2\lambda\, y = 2 \times 1.828 \times y = 3.656\, y$$

$$b = (\lambda - m)\, y = (1.828 - 1)\, y = 0.828\, y$$

$$R_h = \frac{y}{2}$$

في حالة القناة غير مبطنة $C = 45$ وبالتعويض في معادلة مانينغ للتدفق نجد:

$$Q = C A \sqrt{J R_h}$$

$$14 = 45 \times 1.828\, y^2 \sqrt{0.5\, y \times 0.001}$$

$$y = 2.25\, m$$

في حالة تم تبطين القناة $C = 70$ وبالتعويض في معادلة مانينغ للتدفق نجد:

$$Q = C A \sqrt{J R_h}$$

$$14 = 70 \times 1.828\, y^2 \sqrt{0.5\, y \times 0.001}$$

$$y = 1.88\, m$$

$$b = 0.828 \times 1.88 = 1.55\, m$$

لنفرض أن K هي كلفة التبطين لكل متر مربع من سطح القناة ومن ثم فإن تكلفة حفر المتر المربع تصبح $3K$ ولندرس كلفة متر طولي واحد من القناة:

أولاً – في حالة القناة غير مبطنة تكون التكلفة للحفر:

$$1\times A = 1\times 1.828\times (2.5)^2 = 9.254\ m^3$$
$$E = 3\,K\times 9.254 = 27.76\ K$$

ثانياً – في حالة تبطين القناة تكون التكلفة للحفر:

$$1\times A = 1\times 1.828\times (1.88)^2$$
$$E = 3\,K\times 1\times 1.828\times (1.88)^2 = 19.38\ K$$

لحساب كلفة التبطين E' = طول الجزء المبلل من قطاع القناة $\times 1\times K$

$$P = 2\lambda\, y = 2\times 1.828\times 1.88 = 6.87\ m$$
$$E' = P\times 1\times K = 6.87\ K$$

وتصبح الكلفة الإجمالية للقناة المبطنة هي: $E + E' = (6.87 + 19.38)\ K = 26.2\ K$

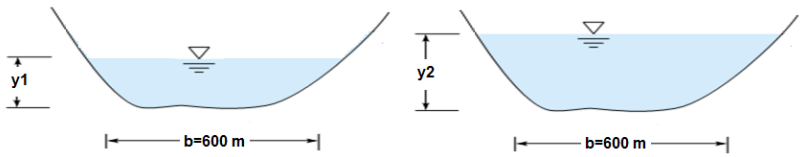
وبالتالي كلفة القناة غير المبطنة أكبر من التكلفة الكلية للقناة المبطنة وتكون القناة المبطنة أقل كلفة.

تطبيق (13-2)

نهر عرض قاعدته $b = 600\ m$ والميل الطولي لقاعه $J = 8\ cm/Km$ وجد أن مادة القاع تبدأ بالحركة إذا وصلت قيمة التدفق إلى $Q = 150\times 10^6\ m^3/day$ والسرعة المتوسطة للجريان تتغير مع عمق الجريان تبعاً للعلاقة: $V = 120\ J^{2/3}\ y$

والمطلوب حساب الميل الطولي للقاع الذي يكون عنده جهد القص المتوسط على القاع لتدفق مقداره $600\times 10^6\ m^3/day$ مساوياً له في الحالة الأولى.

الحل



نبدأ الحل بتحديد معطيات المسألة كما يلي:

$$Q_1 = 150\times10^6\ m^3/day = 1736.11\ m^3/sec$$
$$Q_2 = 600\times10^6\ m^3/day = 6944.4\ m^3/sec$$
$$J_1 = 8\times10^{-5}$$
$$J_2 = ?$$
$$\tau_1 = \gamma R_h^{2/3} J_1$$
$$R_{h_1} = \frac{A}{P} = \frac{b\,y_1}{b+2\,y_1} \approx y \quad ; \quad b >> y$$
$$Q_1 = A_1\ V_1 = 600\,y_1\ (120\ J_1^{2/5}\ y_1) = 1736.11$$
$$y_1 = 3.6\ m$$
$$\tau_1 = 10^3\times8\times10^{-5}\times3.6 = 0.288\ Kg/m^2$$
$$\tau_1 = \tau_2 = 0.288\ Kg/m^2$$
$$\tau_2 = \gamma\ y_2\ J_2$$
$$0.288 = 10^3\times y_2\ J_2 \cdots\cdots(1)$$

من معادلة الاستمرار

$$Q_2 = A_2\ V_2 = 600\,y_2\ (120\ J_2^{2/3}\ y_2) = 6944.4\cdots\cdots(2)$$
$$y_2 = \frac{0.288\times10^3}{J_2}$$

نعوض في العلاقة (2) فنجد:

$$6944.4 = 7.2\times10^4\times y_2^2\times J^{2/3} = 5.972\ J_2^{4/3}$$
$$J_2 = 2.82\times10^{-5}$$
$$y_2 = 10.2\ m$$

ملاحظة: إذا لم يتم إهمال $2\,y$ أمام b فإننا نصل بالتقريب المتتالي إلى النتائج التالية:

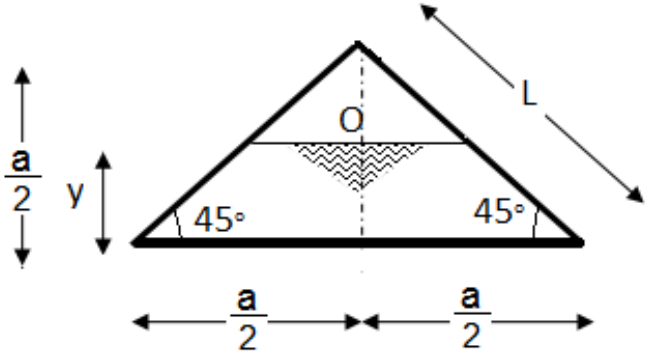
$$J_2 = 2.95\times10^{-5}$$
$$y_2 = 10.05\ m$$

تطبيق (2-14)

قناة مثلثية مغلقة ذات مقطع موضح بالشكل، فإذا علمت أن الميل الطولي للقناة $J = 0.002$ ومعامل مانينغ $n = 0.014$ فالمطلوب حساب:

1- النسبة y/a ليمر في القناة جريان نظامي بتدفق أعظمي.

2- حساب هذا التدفق من أجل $a = 5m$ ثم حدد نظام الجريان.



الحل

$$A = A_1 - A_2$$

$$A_1 = \frac{2a}{2} \times \frac{a}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{a^2}{4}$$

$$A_2 = 2(\frac{a}{2} - y)(\frac{a}{2} - y)\frac{1}{2} = (\frac{a}{2} - y)^2 \qquad (1)$$

$$A = \frac{a^2}{4} - (\frac{a}{2} - y)^2 = a\,y - y^2$$

$$P = a + 2(L - L')$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{a}{2}\sqrt{2}$$

$$L' = \sqrt{(\frac{a}{2} - y)^2 + (\frac{a}{2} - y)^2} = (\frac{a}{2} - y)\sqrt{2} \qquad (2)$$

$$L - L' = \frac{a}{2}\sqrt{2} - (\frac{a}{2} - y)\sqrt{2} = \sqrt{2}(\frac{a}{2} - \frac{a}{2} + y) = y\sqrt{2}$$

$$P = a + 2y\sqrt{2}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{a\,y - y^2}{a + 2y\sqrt{2}}$$

ليمر التدفق أعظمياً يجب أن تتحقق العلاقة التالية:

$$5\,P\,dA - 2\,A\,dP = 0$$
$$dA = a - 2\,y$$
$$dP = 2\sqrt{2}$$
$$5(a + 2\sqrt{2}\,y)\,(a - 2\,y) - 2\,(a\,y - y^2)\,(2\sqrt{2}) = 0$$
$$5\,a^2 + 10\sqrt{2}\;a\,y - 10\,a\,y - 20\sqrt{2}\;y^2 - 4\sqrt{2\,a\,y} + 4\sqrt{2}\;y^2 = 0$$

نقسم على a^2 :

$$16\sqrt{2}\,\frac{y^2}{a^2} - \frac{y}{a}(6\sqrt{2} - 10) - 5 = 0$$
$$22.63\,\frac{y^2}{a^2} + 1.5\,\frac{y}{a} - 5 = 0$$
$$\Delta = 2.25 - 4\,(22.63)\,(-5) = 454.85$$
$$\sqrt{\Delta} = 21.33$$
$$\frac{y}{a} = \frac{-1.5 + 21.33}{2 \times 22.63} = 0.438 \approx 0.44$$
$$\frac{y}{a} = \frac{-1.5 - 21.33}{2 \times 22.63} = -0.5 \quad \text{مرفوض}$$

من أجل $a = 5$

$$y = 0.44 \times 5 = 2.2\ m$$
$$A = a\,y - y^2 = 6.16\ m^2$$
$$P = a + 2\sqrt{2}\;y = 11.22\ m$$
$$R_h = \frac{A}{p} = 0.55\,m$$
$$Q = \frac{1}{n}\,A\,R_h^{2/3}\,\sqrt{J}$$
$$Q = \frac{1}{0.014} \times 6.16 \times (0.55)^{2/3} \times \sqrt{0.001} = 9.34\ m^3/sec$$
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{9.34}{6.16} = 1.52\ m/sec$$

لتحديد نظام الجريان نحسب رقم فرود

$$T = 0.6\ m$$

$$y_m = \frac{A}{T} = \frac{6.16}{0.6} = 10.27\ m$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}} = \frac{1.52}{\sqrt{9.81 \times 10.27}} = 0.15 < 1$$ جريان نهري

تطبيق (2-15)

يمر تدفق في قناة على شكل مثلث متساوي الساقين عرض قاعدتها a وجوانبها تصنع زاوية 45° مع القاع والمطلوب:

تحديد العلاقة بين عمق الماء d وعرض القاع a بالنسبة للحالات التالية:

1- حالة السرعة العظمى.

2- حالة التدفق الأعظمي.

وذلك باعتماد صيغة مانينغ مع ملاحظة أن: $d < 0.5a$

الحل

تعطى السرعة حسب مانينغ

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

$$A = \left(\frac{GH + BC}{2}\right) \times d$$

$$GH = BC - 2\,GC = a - 2\,d$$

بما أن $\frac{GH}{GC} = tg45 = 1$ أو $\frac{d}{GC} = 1$ أو $GC = d$ إذن:

$$A = \left[\frac{(a - 2\,d) + a}{2}\right] \times d = (a - d) \times d$$

$$P = BC + BG + HC = BC + 2\,BG$$

$$BG = \sqrt{d^2 + d^2} = d\sqrt{2}$$

$$P = a + 2\sqrt{2}\,d$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{(a - d) \times d}{a + 2\sqrt{2}\,d}$$

وبالتالي بالتعويض بمعادلة مانينغ للسرعة نجد:

$$V = \frac{1}{n}\left[\frac{(a-d)\,d}{a+2\sqrt{2}\,d}\right]^{2/3}\sqrt{J}$$

لنحصل على السرعة الأعظمية نكتب:

$$\frac{d}{dd} = \frac{J^{1/2}}{n}\left[\frac{(a-d)\,d}{a+2\sqrt{2}\,d}\right]^{2/3} = 0$$

وبعد التبسيط تصبح لدينا العلاقة بالشكل التالي:

$$a^2 - 2\,a\,d - 2\sqrt{2}\;d^2 = 0$$

$$a = \frac{2d \pm \sqrt{4d^2 + 8\sqrt{2}\;d^2}}{2} = \frac{2d \pm 3.91d}{2} = 2.955\,d$$

وذلك بإهمال القيمة السالبة وبالتالي:

$$\frac{d}{a} = \frac{1}{2.955} = 0.338$$

من أجل الحصول على أقصى كمية للتدفق يكون:

$$Q = A\,V = (a-d)\;\frac{1}{n}\left[\frac{(a-d)\,d}{a+2\sqrt{2}\,d}\right]^{2/3}\sqrt{J}$$

$$\frac{d}{dd} = \left[(a-d)\times d\times\frac{J^{1/2}}{n}\times\left[\frac{(a-d)\times d}{a+2\sqrt{2}\,d}\right]^{2/3}\right] = 0$$

$$\frac{J^{1/2}}{n}\left[\frac{(a+2\sqrt{2}\,d)^{2/3}\times\frac{5}{3}\times((a-d)\times d\,)^{2/3}\times(a-2d)}{(a+2\sqrt{2}\,d)^{4/3}}\right.$$

$$\left.\frac{\left((a-d)\times d\right)^{5/3}\times\left[\frac{2}{3}\times(a+2\sqrt{2}\,d)^{1/3}\times 2\sqrt{2}\right]}{\left(a+2\sqrt{2}\,d\right)^{4/3}}\right] = 0$$

وبعد التبسيط نحصل على الآتي:

$$5d^2 - 1.5147\,a\,d - 22.627\;d^2 = 0$$

$$a = \frac{1.5147 \pm d\,\sqrt{(1.5147)^2 + 4\times 5\times 22.6274}}{10} = 2.284\,d$$

وذلك بإهمال القيمة السالبة فيصبح: $\frac{d}{a} = \frac{1}{2.284} = 0.4378$

تطبيق (2-16)

قناة مكشوفة مغلقة ذات مقطع موضح بالشكل المجاور يمر بها جريان منتظم بأعماق مختلفة وتدفقات مختلفة باعتماد معادلة مانينغ في حساب ثابت شيزي:

1- اثبت بطريقة رياضية أن التدفق الأعظمي يكون عندما تكون قيمة نسبة عمق الجريان إلى ضلع المعين h/L=1.259

2- اثبت بطريقة رياضية أن السرعة الاعظمية تكون عندما تكون قيمة نسبة عمق الجريان إلى ضلع المعين h/L=1

3- ارسم مخططا يعطي تحولات قيم التدفق والسرعة مع النسبة h/L من أجل ارتفاعات مائية متغيرة من h=0 إلى $h = \frac{2L}{\sqrt{2}}$ بتزايد 0.2 إذا علمت أن $L=\sqrt{2}$ وأن الميل الطولي للقناة J=0.001 ومعامل خشونة مانينغ n=0.02 ثم قارن نتائج الطلب الأول مع المخطط.

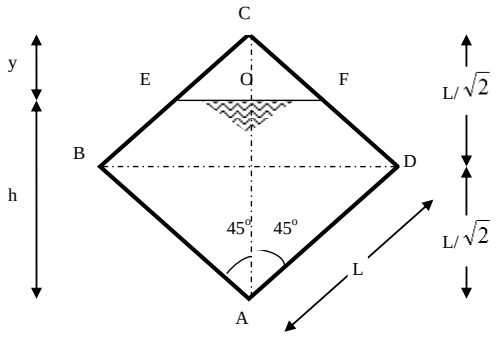
4- في أحد الأعوام تم الجريان في القناة بعمق نظامي مقداره h=1m والمطلوب:

ا – الميل الحرج وطبيعة ميل القناة ونوع الجريان

ب – في موضع ما من مجرى القناة تم حدوث قفزة مائية وكانت قيمة الحمولة النوعية في المقطع الموافق للعمق المنضغط (الشلالي) E_{S1}=2m وباعتبار القناة أفقية في منطقة القفزة احسب مايلي:

1- العمقين المترافقين 2- ضياع الحمولة الناتج عن القفزة

3- مردود القفزة



الحل:

$$BE = L - \sqrt{2}\ y$$

$$EF = 2y$$

$$P = 4L - 2y\sqrt{2}$$

$$y = 2\frac{L}{\sqrt{2}} - h \qquad (1)$$

$$P = 4\,L - 2\sqrt{2}\,(\frac{2\,L}{\sqrt{2}} - h)$$

$$P = 4\,L - 4\,L + 2\,\sqrt{2}\,(\frac{2\,L}{\sqrt{2}} - h)$$

$$P = 2\,\sqrt{2}\,h$$

$$A = L^2 - y^2 = L^2 - (\frac{4}{2}L^2 - \frac{4}{\sqrt{2}}L\,h + h^2)$$

$$A = \frac{4}{\sqrt{2}}L\,h - L^2 - h^2 \qquad (2)$$

حساب التدفق الأعظمي

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

$$Q = \frac{\sqrt{J}}{n}A\ \frac{A^{2/3}}{P^{2/3}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{J}}{n}\ \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$\frac{dQ}{dh} = 0$$

$$d(\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}) = 0$$

$$5\,P\,dA - 2\,A\,dP = 0$$

$$\frac{dA}{dh} = \frac{4}{\sqrt{2}}L - 2\,h$$

$$\frac{dP}{dh} = 2\sqrt{2}$$

$$5\,(2\sqrt{2}\,h)\,(\frac{4}{\sqrt{2}}L-2h)-2(\frac{4}{\sqrt{2}}L\,h-L^2-h^2)\,(2\sqrt{2})=0$$

$$20\sqrt{2}\,h^2+40\,L\,h-16\,L\,h+4\sqrt{2}L^2+4\sqrt{2}h^2)=0$$

$$-16\sqrt{2}\,h^2-24\,L\,h+4\sqrt{2}L^2=0$$

نقسم على $4\sqrt{2}L^2$ لنحصل على معادلة من الدرجة الثانية:

$$-4\left(\frac{h}{L}\right)^2+3\sqrt{2}\,\frac{h}{L}+1=0$$

$$\Delta=34$$

$$\frac{h}{L}=\frac{-3\sqrt{2}+\sqrt{34}}{-8}=-0.198 \qquad \text{مرفوض}$$

$$\frac{h}{L}=\frac{-3\sqrt{2}-\sqrt{34}}{-8}=1.259$$

حساب السرعة الاعظمية:

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

$$\frac{dV}{dh}=0$$

$$d(\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}})=0$$

$$dA\,P-dP\,A=0$$

$$2\sqrt{2}\,h\,(\frac{4}{\sqrt{2}}L-2h)-2\sqrt{2}\,(\frac{4}{\sqrt{2}}L\,h-L^2-h^2)=0$$

$$-2\sqrt{2}\,h^2+2\sqrt{2}\,L^2=0$$

$$\frac{h^2}{L^2}=1 \quad\Rightarrow\quad \frac{h}{L}=1$$

لدراسة تحولات قيم التدفق مع النسبة h/L من أجل ارتفاعات مائية متغيرة من h=0 إلى $h=\frac{2L}{\sqrt{2}}$ وبتعويض قيمة $L=\sqrt{2}$ في المعادلتين (1), (2) نجد:

من أجل: $h=\frac{L}{\sqrt{2}} \;\rightarrow\; h=0$ يكون المقطع مثلثياً

$$A=\frac{1}{2}h\times 2h=h^2$$

$$P=2\sqrt{2\,h}$$

من أجل:

$$h = \frac{L}{\sqrt{2}} \quad \rightarrow \quad h = \frac{2\,L}{\sqrt{2}}$$

يكون:

$$A = -2 + 4\,h - h^2$$

$$P = 2\sqrt{2\,h}$$

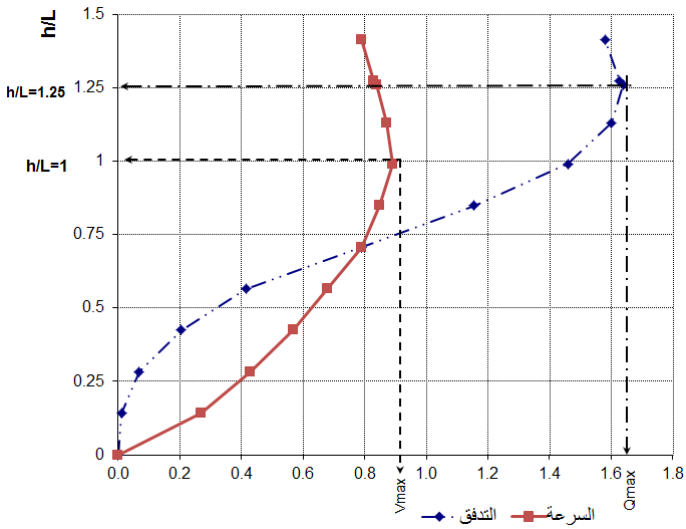
ويكون:

$$V = \frac{1}{n}\,R_h^{2/3}\,\sqrt{J} = 1.581\,R_h^{2/3}$$

$$Q = A\ \ V$$

ننظم الحسابات في الجدول الآتي:

h	$\frac{h}{L}$	A	P	R_h	$R_h^{2/3}$	V	Q
0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	0.141	0.04	0.57	0.07	0.17	0.27	0.011
0.4	0.283	0.16	1.13	0.14	0.27	0.43	0.069
0.6	0.424	0.36	1.7	0.212	0.36	0.57	0.205
0.8	0.566	0.611	2.26	0.28	0.43	0.68	0.415
1	0.707	1	2.83	0.35	0.5	0.79	0.79
1.2	0.849	1.36	3.39	0.4	0.54	0.85	1.156
1.4	0.99	1.64	3.96	0.414	0.56	0.89	1.46
1.6	1.131	1.84	4.52	0.407	0.55	0.87	1.601
1.78	1.259	1.95	5.03	0.387	0.53	0.84	1.638
1.8	1.273	1.96	5.1	0.38	0.525	0.83	1.627
2	1.414	2	5.66	0.35	0.5	0.79	1.58



من أجل $h = 1m$ و $Q = 0.079$ و $m = 1$ والمقطع مثلثي

لحساب الميل الحرج نحسب العمق الحرج (انظر الفصل الثالث)

$$y_c = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{g\,m^2}} = 0.66\,m$$

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

$$A_c = 0.44\,m^2 \qquad P = 1.87\,m \qquad R_h = 0.236$$

نعوض فيصبح:

$$0.79 = \frac{0.44}{0.02} \times (0.236)^{2/3} \times \sqrt{J_c}$$

$$J_c = 0.009$$

وهو ميل بسيط الانحدار $J_c > J$ ونوع الجريان نهري

حساب العمقين المترافقين للقفزة (انظر الفصل الخامس)

$$E_{S1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + \frac{Q^2}{2g\,A_1^2} = y_1 + \frac{Q^2}{2g\,y_1^4}$$

$$E_{S2} = y_1 + \frac{0.032}{y_1^4} = 2$$

$$y_1 = 0.374\,m$$

لحساب العمق المرافق الثاني نلجأ لتابع القوى النوعية:

$$Y = \frac{Q^2}{g\,A_1} + A_1\,\bar{h}_1 = \frac{Q^2}{g\,A_2} + A_2\,\bar{h}_2$$

$$Y = \frac{Q^2}{g\,y_1^2} + y_1^2\,\frac{y_1}{3} = \frac{0.064}{y_1^2} + \frac{y_1^3}{3} = 0.475$$

وبالمثل نحصل على $\frac{0.064}{y_2^2} + \frac{y_2^3}{3} = 0.475$ وبالتالي تصبح $y_2 = 1.08\,m$

ضياع الحمولة:

$$E_{s1} = y_2 + \frac{0.032}{y_2^4} = 1.104$$

$$\Delta E_s = E_{s1} - E_{s2} = 0.896$$

$$\frac{\Delta E_s}{E_{s1}} = \frac{0.896}{2} = 0.448\%$$

$$\eta = \frac{y_2 - y_1}{\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}} = \frac{0.706}{\frac{Q^2}{2gA_1^2} - \frac{Q^2}{2gA_2^2}}$$

$$\eta = \frac{0.706}{\frac{0.032}{y_1^4} - \frac{0.032}{y_2^4}} = 0.44\%$$

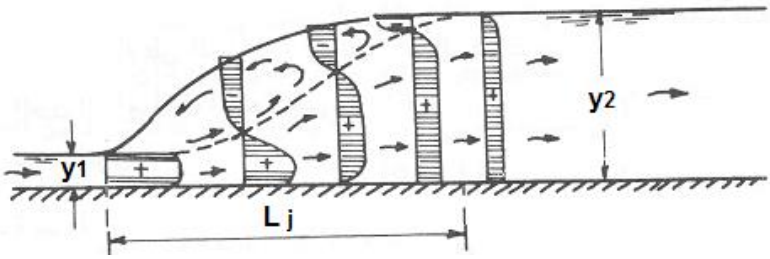
الفصل الخامس
الجريان سريع التغير (القفزة المائية)
Rapidly Varied Flow (Hydraulic Jump)

1-5 مقدمة

القفزة المائية هي عبارة عن تغير مفاجئ ومضطرب في طبيعة جريان السائل من طور منخفض إلى طور عال. أي عند انتقال الجريان من حالة جريان فوق الحرج (شلالي)، $y<y_C$ أو $F_r>1$ إلى حالة جريان تحت الحرج (نهري) $y>y_C$ أو $F_r<1$ فإن هذا الانتقال يحدث بصورة زيادة سريعة في أعماق الجريان خلال مسافة قصيرة نسبياً. وكما في كل حالات الجريان المتوسع التي تحدث ازدياداً في الضغط أسفل التيار، فإن القفزة المائية تترافق بدوامات كبيرة وعنيفة وبالتالي تترافق حتماً بضياع في القدرة الحركية.

بملاحظة شكل توزع السرعة خلال القفزة نجد أن الجريان خلال القفزة ينقسم إلى جزئين الشكل (5-1).

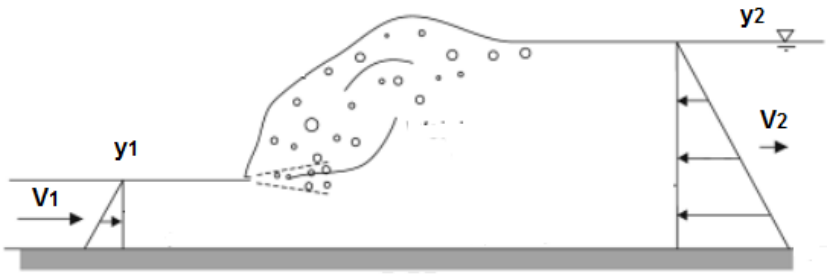
الجزء السفلي من القفزة تكون الحركة فيه إلى الأمام في اتجاه حركة الجريان وفي صورة جريان يتسع بالاتجاه الشاقولي، في هذا الجزء يكون انحناء خطوط التيار كبير ويكون الجريان سريع التغير ولا يمكن تطبيق قانون التوزيع الهيدروستاتيكي للضغوط في هذه الحالة.



الشكل(5-1)

الجزء العلوي من القفزة عبارة عن كتلة من الماء المشبع بالهواء والتي تتحرك فوق الجزء السفلي وتكون الحركة في هذا الجزء عكس اتجاه حركة الجريان ككل ونلاحظ أن الحركة في هذين الجزأين ليست حركة منفصلة ولكن يحدث دائماً تبادل لجزيئات السائل بينها أثناء الحركة بصفة دائمة.

- تتحدد بداية القفزة المائية بذات المقطع الذي يكون فيه الجريان فوق الحرج، قبل القفزة محتفظاً بشكل توزيع السرعات للجريان متدرج التغير الشكل(5-2).
- تتحدد نهاية القفزة بذلك المقطع الذي يكون فيه الجريان تحت الحرج، بعد القفزة محتفظاً بشكل توزيع السرعات للجريان متدرج التغير، يقع هذا المقطع بعد انتهاء منطقة الدوامات السطحية مباشرة.
- على ذلك فإنه في مقطعي بداية ونهاية القفزة يمكن اعتبار أن الضغوط موزعة هيدروستاتيكياً.



الشكل(5-2)

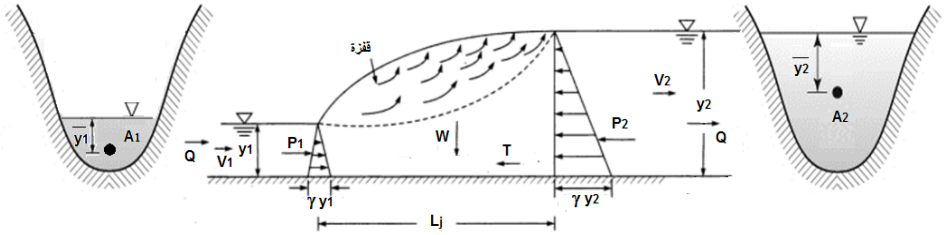
تستخدم القفزة المائية في أغراض شتى نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

1) تبديد طاقة الجريان المار من على الهدارات و السدود و المنشآت المائية.
2) زيادة عمق المياه خلف المنشآت المائية مما يؤدي لسهولة استخدامها لأغراض الري.
3) خلط المواد الكيماوية المستخدمة في تنقية المياه.
4) زيادة عمق المياه على الجزء الخلفي لقواعد المنشآت المائية، مما ينتج عنه زيادة الوزن المقاوم لقوى الرفع المائي على القاعدة من أسفل والناتجة من التسرب تحت القاعدة.
5) زيادة التدفق المار من تحت البوابات حيث تسبب زيادة في قيمة الضاغط المؤثر على البوابة في حال تكونها بعيداً بعض الشئ عن البوابة.

2-5 المعادلة العامة للقفزة المائية

لنعتمد مقطعين مجاورين لمنطقة التغير السريع أو القفزة وبعيدين عنها بعداً كافياً بحيث يمكن اعتبار الجريان فيهما منتظماً (أو متغير بشكل تدريجي) وليكن A_1,A_2 المقطع

المائي في مقطعي الجريان قبل وبعد القفزة وليكن y_1,y_2 أعماق الماء قبل وبعد القفزة و V_1,V_2 السرع في المقطعين الشكل(5-3).



الشكل(5-3)

لنطبق نظرية التغير في كمية الحركة على كتلة السائل المحصورة في هذين المقطعين بكتابة أن تدفق كمية الحركة الخارجة من هذين المقطعين والمسقطة على مستقيم يوازي مولدات القناة يساوي إلى مجموع القوى المؤثرة على هذه الكتلة المائية في اتجاه x:

$$\sum F = \rho Q (V_2 - V_1) \qquad (1\text{-}5)$$

وهذه القوى هي:

- قوى الضغط الهيدروستاتيكي على المقطعين (1) و(2)

$$F_1 = \gamma A_1 \bar{y}_1$$
$$F_2 = \gamma A_2 \bar{y}_2 \qquad (2\text{-}5)$$

$\bar{y}_1, \bar{y}_2$ عمق مركز ثقل المقطع المعتبر تحت السطح الحر في ذلك المقطع و تؤثران في اتجاه محور x

- وزن السائل المحصور بين المقطعين(1) و(2) ومقداره W ويؤثر عمودياً على اتجاه المحور x
- قوى الاحتكاك على جوانب المجرى ومقدارها T وتؤثر بعكس اتجاه المحور x

إذا أهملنا الميل من جهة وقوى الاحتكاك من جهة أخرى لصغر المسافة بين المقطعين مؤكدين أن الضغط على الجوانب الصلبة عمودي على اتجاه الجريان نجد:

$$\rho \beta_2 Q V_2 - \rho \beta_1 Q V_1 = F_1 - F_2 \qquad (3\text{-}5)$$

باعتبار أن معامل تصحيح كمية الحركة في مقطعي الجريان (1) و(2) متساوي ويساوي تقريباً الواحد الصحيح أي: $\beta_2 = \beta_1$

أي تصبح المعادلة بعد تعويض القيم وقسمة الطرفين على γ ونقل المتحولات العائدة لكل مقطع إلى طرف والإصلاح كما يلي:

$$\frac{Q^2}{g\,A_1} + A_1\,\overline{y_1} = \frac{Q^2}{g\,A_2} + A_2\,\overline{y_2} \qquad (4\text{-}5)$$

حيث نسمي التابع:

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

تابع القوى النوعية وهو علاقة تربط التدفق بالعمق. ويعبر عن المعادلة الأساسية للقفزة المائية في قناة أفقية منتظمة. ومن هنا نستطيع تحديد قيمة العمقين المترافقين إذا علم احد العمقين والتدفق المار وشكل مقطع القناة.

1-2-5 منحني القوى النوعية Specific force diagram :

يعطى تابع القوى النوعية والخاص بمقطع جريان معين بالعلاقة:

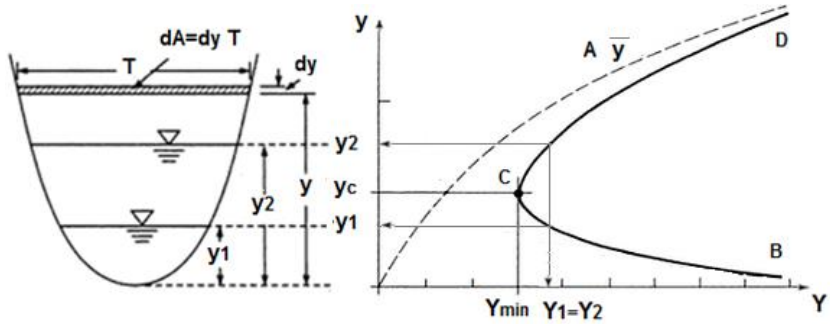
$$Y = \frac{Q^2}{g\,A} + A\,\overline{y} \qquad (5\text{-}5)$$

حيث:

$\frac{Q^2}{g\,A}$: كمية الحركة للجريان المار بالمقطع في واحدة الزمن ولوحدة الوزن من الماء أي أنه يعادل قوة لوحدة الوزن من الماء.

$A\,\overline{y}$: قوى الضغط الهيدروستاتيكي المؤثرة على هذا المقطع لوحدة الوزن من الماء

لندرس العلاقة $Y=f(y)$ ونرسم منحني يوضح العلاقة بين العمق y والقوى النوعية Y لقناة منتظمة (مقطعها ثابت على امتداد طولها) ويمر فيها تدفق معين Q و نسمي هذا المنحني بمنحني القوى النوعية.



الشكل(5-4)

- إن قيم y موجبة دوماً
- له قيمتان لانهائيتان:

1) عندما $y \to 0$ فإن $A \to 0$ و $V \to \infty$ ويكون $Y \to \infty$ والمقارب الأول لهذا التابع هو المحور Y المعتبر على الشكل أفقياً.

2) عندما $y \to \infty$ فإن $A \to \infty$ و $\frac{Q^2}{g\,A} \to 0$ ويكون $Y \to A\,\bar{y}$ والمقارب الثاني لهذا التابع هو المنحني $f(y) = A\bar{y}$ وهو تابع متزايد حتماً.

المنحني يوضح أنه لقيمة محددة للقوى النوعية Y يمكن أن يمر التدفق إما بعمق صغير y_1 أو بعمق كبير y_2 وكل من هذين العمقين هو العمق المرافق للعمق الآخر.

3) التابع يمر بنهاية صغرى توافق $\frac{dY}{dy} = 0$

$$\frac{dY}{dy} = -\frac{Q^2}{g\,A^2} + \frac{dA}{dy} + \frac{d(A\,\bar{y})}{dy} \qquad (6\text{-}5)$$

في المعادلة(5-6) نجد أن: $\frac{dA}{dy} = T$ كما أن:

$$d(A\,\bar{y}) = [A\,(\bar{y} + dy) + T\,\frac{dy}{2}\,dy] - A\,\bar{y}$$
$$d(A\,\bar{y}) = [A\,\bar{y} + A\,dy) + T\,\frac{dy^2}{2}] - A\,\bar{y} \qquad (7\text{-}5)$$

وبإهمال الكمية dy^2 لصغرها ينتج أن: $d(A\,\bar{y}) = A\,dy$ أي أن:

$$\frac{d(A\,\bar{y})}{dy} = A \qquad (8\text{-}5)$$

بالتعويض عن(5-7) و(5-8) في المعادلة(5-6) ينتج أن:

$$\frac{dY}{dy} = -\frac{Q^2}{g\,A^2}T + A \qquad (9\text{-}5)$$

على ذلك فإن أقل قيمة للقوى النوعية Y_{min} تحدث عندما يكون:

$$\frac{dY}{dy} = -\frac{Q^2}{g\,A^2}T + A = 0 \qquad (10\text{-}5)$$

أي عندما تكون:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \qquad (11\text{-}5)$$

أو عندما تكون:

$$\frac{Q^2\,T}{g\,A^3} = \frac{V^2}{g\,y_m} = F_r^2 = 1 \qquad (12\text{-}5)$$

أو عندما تكون:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}} = 1 \qquad (13\text{-}5)$$

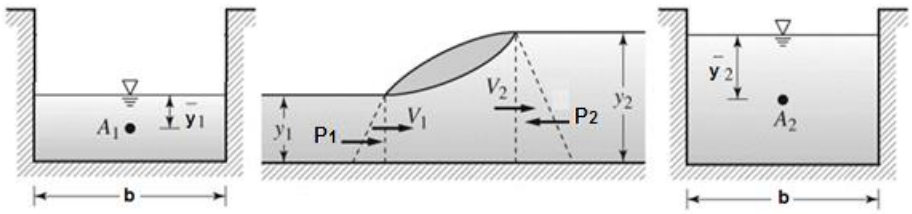
من البند (الجريان الحرج) نجد أن هذا الشرط يتحقق عندما يكون الجريان حرجاً أي أن قيمة القوى النوعية تكون أقل ما يمكن Y_{min} عندما يكون $y_1=y_2=y_C$.

أي للتابع $Y=f(y)$ فرعان تفصلهما عن بعضهما النقطة C الممثلة للحالة الحرجة

الفرع BC يعبر عن حالة الجريان فوق الحرج حيث $y<y_C$ و $F_r>1$ والفرع DC يعبر عن حالة الجريان تحت الحرج حيث $y > y_C$ و $F_r<1$

ويكون للتابع Y نفس القيمة $Y>Y_{min}$ من أجل عمقين أحدهما شلالي y_1 والآخر نهري y_2 نسميهما كما أسلفنا مترافقان.

3-5 القفزة المائية في قناة أفقية منتظمة ذات مقطع مستطيل:



الشكل(5-5)

1-3-5 العلاقة بين العمقين المترافقين: بالاعتماد على المعادلة العامة للقفزة

$$\frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \bar{y}_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \bar{y}_2 \qquad (14\text{-}5)$$

يكون لدينا في هذه الحالة الخاصة لمقطع مستطيل عرض قاعدته b

$$b = T$$

$$A_1 = y_1 b \qquad \bar{y}_1 = \frac{y_1}{2} \qquad (15\text{-}5)$$

$$A_2 = y_2 b \qquad \bar{y}_2 = \frac{y_2}{2}$$

بالتعويض في المعادلة (14-5) نحصل على:

$$\frac{Q^2}{g y_1 b} + b\frac{y_1^2}{2} = \frac{Q^2}{g y_2 b} + b\frac{y_2^2}{2}$$

$$y_2^2 - y_1^2 = \frac{2}{b}\frac{Q^2}{g b}\left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2}\right) \qquad (16\text{-}5)$$

ويكون:

$$(y_2 - y_1)(y_2 + y_1) = \frac{2 Q^2}{g b^2}\left(\frac{y_2 - y_1}{y_1 y_2}\right) \qquad (17\text{-}5)$$

وبما أن $y_2 \neq y_1$ نقسم طرفي المعادلة على $(y_2 - y_1) \neq 0$ فيصبح لدينا:

$$y_2 + y_1 = \frac{2 Q^2}{g b^2}\left(\frac{1}{y_1 y_2}\right) \qquad (18\text{-}5)$$

بضرب الطرفين في $\frac{y_2}{y_1^2}$ وبالتعويض عن $F_{r1}^2 = \frac{V_1^2}{g y_1} = \frac{2 Q^2}{g b^2 y_1^3}$

ينتج أن:

$$\frac{y_2^2}{y_1^2} + \frac{y_2}{y_1} - 2 F_{r1}^2 = 0 \qquad (19\text{-}5)$$

بحل المعادلة من الدرجة الثانية ينتج لدينا:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 8 F_{r1}^2}}{2} \qquad (20\text{-}5)$$

أو:

$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left[\sqrt{1+8\,F_{r1}^2}-1\right] \qquad (21\text{-}5)$$

أما إذا ضربنا الطرفين في $\frac{y_1}{y_2^2}$ وعوضنا عن المقدار $F_{r2}^2 = \frac{V_2^2}{g\,y_2} = \frac{2\,Q^2}{g\,b^2\,y_2^3}$

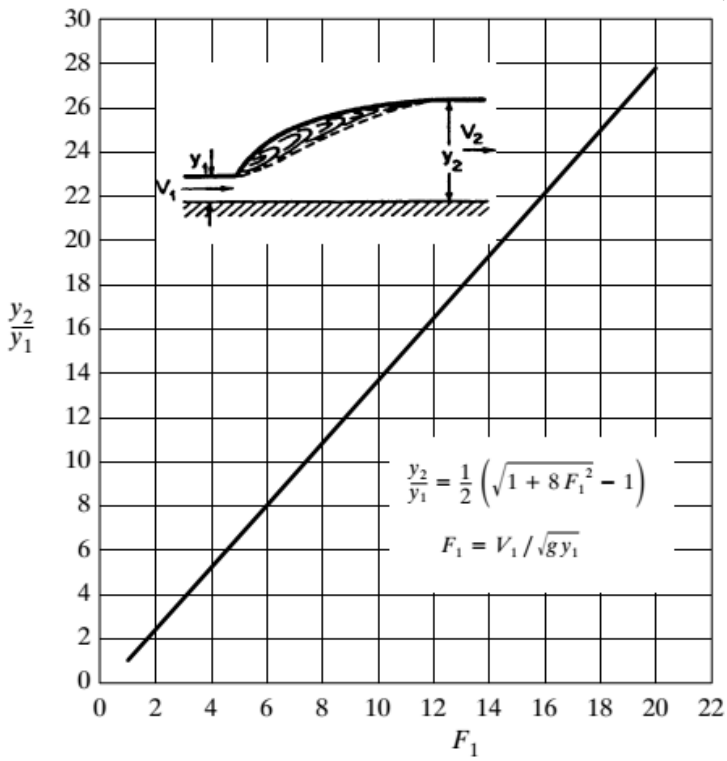
نجد أن:

$$\frac{y_1^2}{y_2^2} + \frac{y_1}{y_2} - 2\,F_{r2}^2 = 0 \qquad (22\text{-}5)$$

ومنه:

$$y_1 = \frac{y_2}{2}\left[\sqrt{1+8\,F_{r2}^2}-1\right] \qquad (23\text{-}5)$$

أي نستطيع من خلال هاتين المعادلتين حساب قيمة احد العمقين المترافقين إذا علم العمق الآخر والتدفق المار في القناة وعرف عرض قاعدتها. كما يمكن ان نحصل عليه من المنحني الموضح بالشكل(5-6)



الشكل(5-6)

2-3-5 السرعتان بجوار القفزة المائية والعلاقة بينهما:

من العلاقة:

$$y_1 + y_2 = \frac{2Q^2}{g b^2 \; y_1 \; y_2} \qquad (24\text{-}5)$$

نعوض بمعادلة الاستمرار:

$$Q = A_1 \; V_1 \qquad (25\text{-}5)$$

حيث:

$$A_1 = b \; y_1 \qquad (26\text{-}5)$$

$$(y_2 + y_1) = \frac{2 A_1^2 V_1^2}{g \, b^2 \; y_1 \; y_2} = \frac{2 y_1 V_1^2}{g \, y_2}$$

$$V_1^2 = \frac{g \, y_2}{2 y_1} (y_2 + y_1) \quad \Rightarrow \quad V_1 = \sqrt{g \, y_2} \qquad (27\text{-}5)$$

3-3-5 العلاقة بين العمقين المترافقين ورقم فرود

لدينا:

$$F_{r_1}^2 = \frac{V_1^2}{g \, y_1} = \frac{g \, y_2}{2 y_1} (y_2 + y_1) \frac{1}{g \, y_1}$$

$$F_{r_1}^2 = \frac{y_2}{2 y_1} \frac{1}{y_1} (y_2 + y_1)$$

$$F_{r_1}^2 = \frac{y_2}{2 y_1} \left(\frac{y_2}{y_1} + 1 \right)$$

$$F_{r_1} = \sqrt{\frac{1}{2} \times \frac{y_2}{y_1} \times \left(1 + \frac{y_2}{y_1} \right)} \quad > 1$$

$$F_{r_2} = \frac{V_2}{\sqrt{g \, y_2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \times \frac{y_1}{y_2} \times \left(1 + \frac{y_1}{y_2} \right)} \quad < 1 \qquad (28\text{-}5)$$

ومنه نجد:

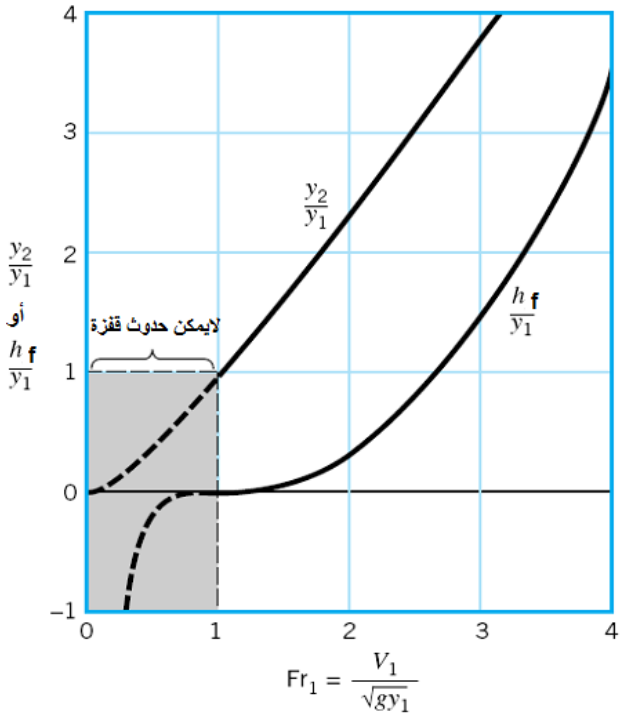
$$F_{r1} \times F_{r2} = \frac{y_1 + y_2}{2 \sqrt{y_1 \, y_2}} \qquad (29\text{-}5)$$

أو

$$\frac{F_{r1}}{F_{r2}} = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^{3/2} \qquad (30\text{-}5)$$

ومنه نستنتج أن:

- من معرفة قيمة الارتفاعين المترافقين y_1, y_2 يمكن حساب F_{r1}, F_{r2}
- من معرفة قيمة F_{r1}, F_{r2} يمكن حساب الارتفاعين المترافقين y_1, y_2



الشكل(5-7)

4-5 القفزة في الأقنية ذات المقطع غير المستطيل:

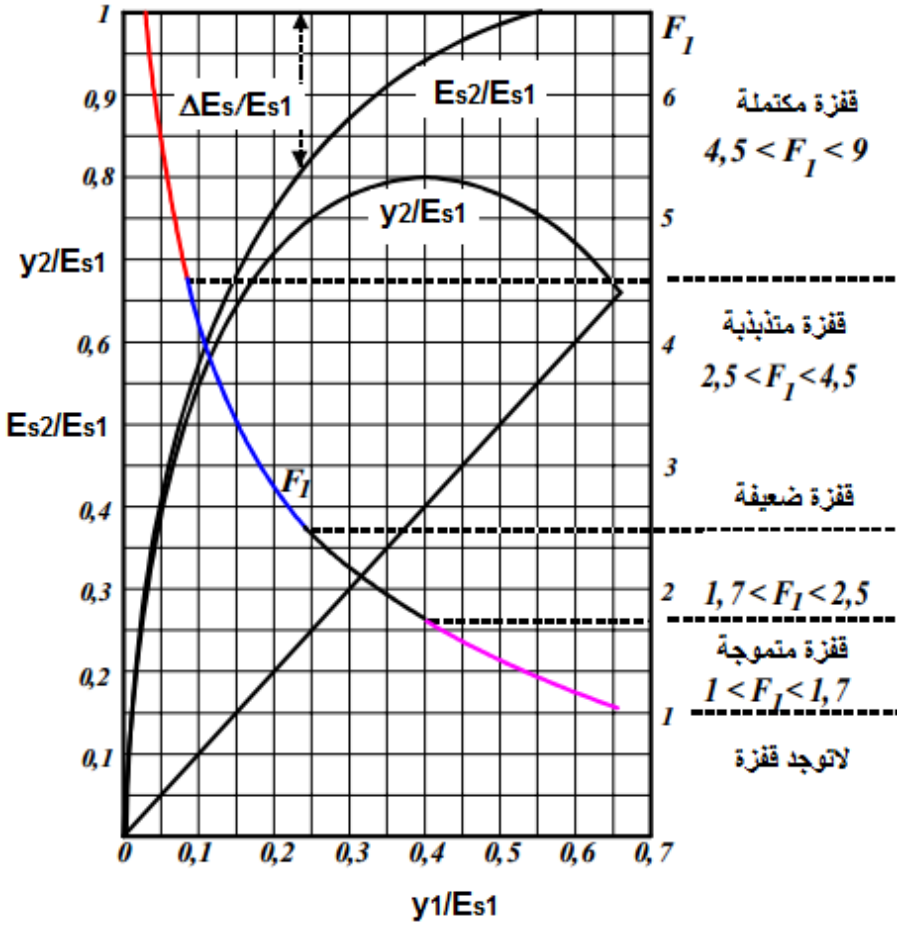
انطلاقاً من المعادلة العامة للقفزة بين المقطعين A_1 و A_2 بداية و نهاية القفزة من أجل تدفق معين:

$$\frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \overline{y_1} = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \overline{y_2} \qquad (31\text{-}5)$$

وبمعرفة شكل مقطع القناة يكون A_1 و $\overline{y}_1$ هي ثوابت معلومة لـ y_1. ويكون A_2 و $\overline{y_2}$ توابع معلومة لـ y_2 فالمعادلة تسمح إذن بحساب y_2 بعد معرفة y_1 أو بالعكس.

5-5 أنواع القفزة المائية:

أوجدنا في الفقرات السابقة العلاقة التي تربط بين العمقين قبل وبعد القفزة بدلالة رقم فرود وبواسطتها أصبح من الممكن التعرف على أنواع القفزة المائية في قناة مستوية استناداً لقيمة رقم فرود قبل القفزة، وقد قامت دائرة الاصطلاحات الامريكية بتصنيف هذه الانواع بالطريقة التالية وحسب اصطلاحاتهم الموضحة بالشكل(5-8)

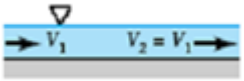
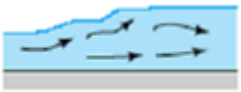


الشكل(5-8)

ومن الممكن التعبير عن تصنيف أنواع وخواص القفزة ضمن الجدول(5-2) التالي:

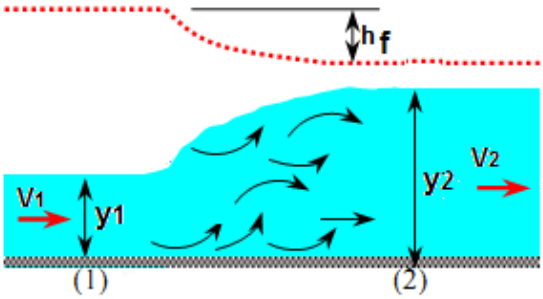
جدول (5-2)

F_{r1}	$\frac{y_2}{y_1}$	التصنيف	النموذج

 لاتوجد قفزة مائية	جريان دون الحرج	1	<1
 قفزة متموجة	الجريان ذو سطح متموج	$1 \rightarrow 2$	$1 \rightarrow 1.7$
 قفزة ضعيفة	تتكون على طول سطح القفزة مجموعة من التموجات الصغيرة تختفي مباشرة بعد القفزة ويكون السائل بعدها مستوياً وبدون اضطرابات	$2 \rightarrow 3.1$	$1.71 \rightarrow 2.5$
 قفزة متذبذبة	يتكون تيار تذبذبي نافث داخل القفزة يتجه نحو الاعلى والاسفل وتتكون على سطح القفزة تذبذبات طويلة الموجة وغير منتظمة تمتد لمسافة كبيرةعلى طول القناة بعد القفزة	$3.1 \rightarrow 5.9$	$2.5 \rightarrow 4.5$
 قفزة مكتملة	تكون الدوامات في أقصى درجات الانفعال في الجزء الامامي من القفزة، بينما تنخفض شدة الانفعال في الجزء السفلي ويقل ظهورها على السطح، حيث تكون القفزة متزنة وشديدة في القعر .وتتراوح نسبة الحمولة المفقودة بسببها بين 45%−70%	$5.9 \rightarrow 12$	$4.5 \rightarrow 9$
 قفزة عنيفة	تسبب السرعة الكبيرة للتيار النافث هيجاناً للدوامات المتكونة في مقدمة القفزة مما يجعلها تدور حول نفسها محاولة الحركة باتجاه معاكس للتيار . ويكون سطح السائل بعد القفزة شديد الاضطراب ومحتوياً على تذبذبات طويلة الموجة تتجه نحومؤخرة القناة. وتصل نسبة الحمولة المفقودة بسببها الى 85%	>12	<9

6-5 ضياع الحمولة بالقفزة المائية:

يعطى ضياع الحمولة في قناة أفقية بين بداية القفزة ونهايتها بالعلاقة العامة لأي مقطع شكل



الشكل(5-9)

$$\Delta E_S = E_{S_1} - E_{S_2}$$

$$\Delta E_S = (y_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (y_2 + \frac{V_2^2}{2g})$$

$$\Delta E_S = (\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}) - (y_2 - y_1)$$

ومن أجل قناة ذات مقطع مستطيل ينتج من العلاقة(5-27) أن:

$$\Delta E_S = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2} \qquad (5\text{-}32)$$

5-7 مردود القفزة

عند اجتياز القفزة تستهلك القفزة قسماً من القدرة الحركية يساوي $\Delta\frac{V^2}{2g}$ ولكن يوجد كسب في القدرة الكامنة نتيجة لزيادة العمق يساوي Δy نستطيع أن نعبر عن المردود بأنه نسبة القدرة الكامنة المكتسبة إلى القدرة الحركية الضائعة ويكون من أجل أي مقطع:

$$\eta = \frac{y_2 - y_1}{\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}} \qquad (5\text{-}33)$$

ومن أجل قناة ذات مقطع مستطيل:

$$\eta = \frac{y_2 - y_1}{\dfrac{(y_2 + y_1)^2 (y_2 - y_1)}{4 y_2 y_1}}$$

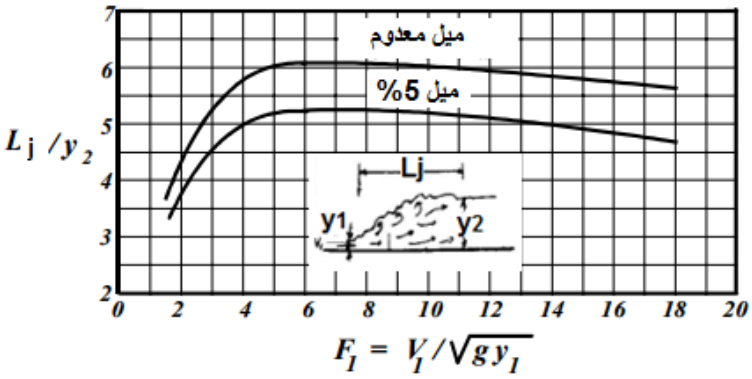
$$\eta = \frac{4 y_2 y_1}{(y_2 + y_1)^2} \qquad (34\text{-}5)$$

وبالخلاصة فإن السهولة التي تبدو جلية من خلال الدراسة السابقة لا يمكن الحصول عليها إلا في المقطع المستطيل. لكن هذه الدراسة تعطي تصوراً سهلاً لما يمكن توقعه عند وجود قفزة مائية في قناة ذات مقطع كيفي وذلك بتصميم النتائج السابقة شكلاً لا موضوعاً.

8-5 طول القفزة L_j

يعتبر طول القفزة L_j هو الطول مقاساً من بدايتها إلى نهايتها وحتى نهايتها أي بعد نهاية الدوامات السطحية مباشرةً. من الصعب جداً تحديد طول القفزة لذلك أعطينا عدة معادلات تجريبية لها في ظروف مخبرية حيث تتغير قيمة F_r في مدى واسع. وتعرض نتائج هذا التجارب على النحو التالي:

1) في صورة منحني يوضح العلاقة بين $\frac{L_j}{y_1}$ و F_{r1} أو كما في الشكل(5-10) والمستنتجة على أساس مجموعة كبيرة من التجارب أجريت على قنوات مخبرية.



الشكل(5-10)

2) في صورة علاقات تجريبية مستنتجة من واقع القراءات التجريبية. ومن أشهر هذه العلاقات استخداماً:

- علاقة بافلوفسكي:

$$L = 2.5(1.8\, y_2 - y_1) \qquad (35\text{-}5)$$

- علاقة شيرتاووسف

$$L = 10.3\, y_1 (F_{r_1} - 1)^{0.81} \qquad (36\text{-}5)$$

a) من العلاقة العملية:

$$L = (4 \rightarrow 6)(y_2 - y_1) \qquad (37\text{-}5)$$

كذلك من المهم في التطبيقات العملية بالإضافة إلى طول القفزة L_j **معرفة ذلك الطول بعد نهاية القفزة** L_1 الذي تخمد فيه تذبذبات السرعة والضغط و يعود الجريان لحالته الطبيعية حيث يهم هذا الطول في تحديد الطول الذي يجب حمايته من النخر بعمل تكسية للقناة. يحدد الطول L_1 بحسب شيرتاووسف $L_1 = (2.5 \rightarrow 3) L_j$

9-5 تعيين موضع القفزة

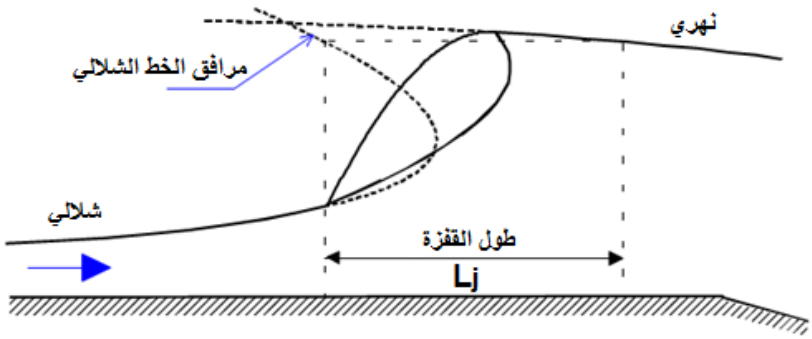
إن الشرط الأساسي عند حدوث القفزة هو أن يكون العمقان المترافقان السابق لها واللاحق بها مترافقين أي أنه في طرفي القفزة تتحقق المساواة $y_1=y_2$ لتابع القوى النوعية. إن السبب الأساسي لحدوث القفزة في مجرى ما هو عدم اتفاق شروط الجريان بين أسفل المجرى وأعلاه، حيث تتلخص مسألة إيجاد موقع القفزة فيما يلي:

- نرسم خطي رد الماء الشلالي قبلها والنهري بعدها المعلومين فرضاً معتمدين قاع القناة أفقياً مثلاً لسهولة الرسم والانشاء.
- نرسم تحولات تابع القوى النوعية الكليY بدلالة العمق معتبرين محور التراتيبY مسايراً للقاع وعلى امتداده. ومحور المتحول y عمودياً عليه معتمدين نفس مقياس الارتفاعات المستخدم لرسم خطي رد الماء.
- يمكننا إذن أن نرسم الخط المرافق لأحد خطوط الرمو المعلومين ونرسم عادة مرافق الخط الشلالي كما في الشكل(5-11)
- يتلخص الإنشاء التخطيطي باختيار أي عمق شلالي ومعرفة مرافقه بواسطة تابع القوى النوعيةY ثم نقل هذا العمق المرافق إلى شاقول العمق المختار ... و هكذا.

لتعيين موقع القفزة نميز حالتين:

1-9-5 اعتبار طول القفزة المائية معدوماً:

إن مرافق الخط الشلالي هو نهري كما نعلم. و عليه فإن تقاطع مرافق الخط الشلالي مع خط الرمو النهري المفروض في القناة يعطي موقع القفزة الذي نفتش عنه كما في الشكل(5-11)



الشكل(5-11) موقع القفزة

5-9-2 ادخال طول القفزة المائية في الاعتبار:

ميل السطح الحر في منطقة القفزة يساوي $J = \frac{\Delta y}{L_j}$ حيث

$\Delta y = y_2 - y_1$: ارتفاع القفزة.

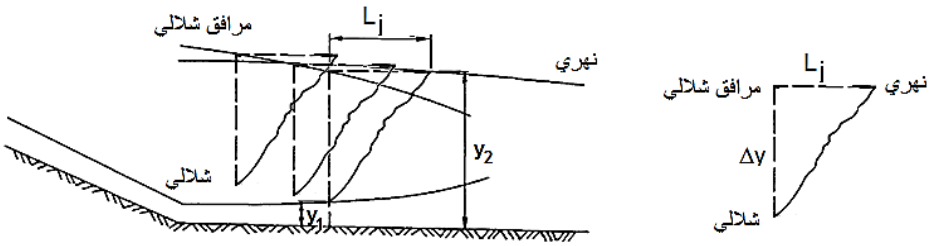
$L = a\left(y_2 - y_1\right)$: طول القفزة و يساوي حيث $a = 4 \rightarrow 6$

وبالتالي يكون ميل السطح

$$J = \frac{\Delta y}{L_j} = \frac{y_2 - y_1}{a\,(y_2 - y_1)} = \frac{1}{a} \qquad (38\text{-}5)$$

ومن المفروض أن العمق في بداية القفزة y_1 يكون شلالياً ويكون مرافقه y_2 نهري ويقع على الفرع النهري لحط رد الماء المرسوم

لا يعين موقع القفزة مباشرةً ولكن بالتحسس كما في الشكل(5-12)



الشكل(5-12) تعيين موضع القفزة

يمكن لتحقيق هذه الغاية على سبيل المثال اعتماد ورقة شفافة مرسوم عليها مثلث قائم الزاوية ضلعه القائم الشاقولي مساوياً Δy وضلعه القائم الأفقي يساوي L بحيث$L_j=a\Delta y$ وهما مرسومان بنفس مقياس رسم خطي رد الماء فيكون وتر هذا المثلث موازياً للسطح الحر في مجال القفزة.

يزلق الرأس القائم لهذا المثلث على مرافقه الشلالي حتى يصبح المستقيم الذي يصل نقطتي تقاطع Δy مع الشلالي و L_j مع النهري موازياً لوتر المثلث المرسوم.

من الممكن معرفة مرافق الخط الشلالي حسابياً من معادلة القوى النوعية وهذه العملية الحسابية تسهل كثيراً عملية إنشاء مرافق الخط الشلالي دون الحاجة لرسم تابع القوى النوعية.

10-5 استعمال المعادلات ومنحنيات الحمولة النوعية والقوى النوعية

إن الفهم الشامل للمنحنيات التابعة للحمولة النوعية والقوى النوعية يسهل كثيراً تطبيق مفاهيم كمية الحركة والقدرة على الجريانات في الأقنية المكشوفة، وينصح الطالب قبل تطبيق تلك المفاهيم على مناطق انتقال معينة في الأقنية أن يدرس نقاط التشابه و الاختلاف في مجموعتي المنحنيات بعناية. ومن الملائم الإشارة إلى أنه رغم إمكانية تطبيق كلا المفهومين على أي نوع من الجريان فإن اختيار النوع المناسب يعتمد على عوامل معلومة وعلى الفرضيات الممكن وضعها، و هنا تبدو حالة القفزة المائية مثالاً جيداً.

بما أن ضياع الحمولة في قفزة ما هو عامل مجهول لا يمكن إهماله فإننا نستعمل مفاهيم كمية الحركة في تحليل الدراسة نظراً لأن الفرضيات الضرورية في هذه الحالة (إهمال الاحتكاك) يمكن تبريرها بسهولة. بعد تعيين عمق الجريان أسفل التيار بالنسبة للقفزة يمكن حساب ضياع الحمولة أو قراءتها من المنحنيات. من ناحية أخرى في حالة الجريان فوق هدار أو عبر التضايقات تكون القوى الناجمة عن العائق مجهولة ولكنها ذات أهمية كبيرة، وهنا يمكن أن نستعمل مفاهيم القدرة لتقدير شروط الجريان التي تمكن بدورها من حساب مقاومة الجريان.

لنأخذ في الاعتبار لتطبيق على استعمال منحنيات الحمولة و القوى النوعية على قفزة مائية في قناة أفقية منتظمة حيث يزيد العمق من y_1 إلى y_2 خلال القفزة.

نفرض أن التدفق المار Q ومن ثم يمكن رسم منحني الطاقة النوعية وكذلك منحني القوى النوعية لهذا التدفق الموضحين في الشكل:

المعادلة التابعة للقوى النوعية الممثلة للقفزة توضح انه لمقطعي جريان المقطع (1) عند بداية القفزة و المقطع(2) عند نهاية القفزة فإن: $Y_1=Y_2=Y$

على ذلك فإنه بتوقيع هذه القيمة على المحور الأفقي (محور Y) لمنحني القوى النوعية ثم رسم خط شاقولي يتقاطع مع المنحني بنقطتين (1) و(2)

الخط الأفقي المار في النقطة(1) يتقاطع من المحور الشاقولي على مسافة y_1 تساوي العمق الابتدائي للقفزة .

الخط الأفقي المار في (2) يتقاطع مع المحور الشاقولي على مسافة y_2 تساوي العمق النهائي للقفزة.

بمد الخط المار في النقطة (1) أفقياً فإنه يتقاطع مع منحني الحمولة النوعية في نقطة(3)

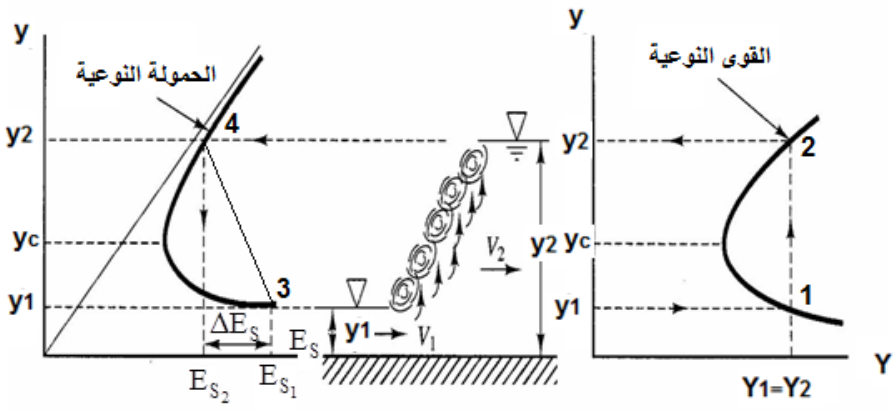
الخط الشاقولي المار في النقطة(3) يتقاطع مع محور E_S على مسافة قدرها E_{S1} (الحمولة النوعية لمقطع الجريان(1)) وبمد هذا الخط المار في النقطة(2) أفقياً فإنه يتقاطع مع منحني الحمولة النوعية في النقطة(4)

الخط الشاقولي المار في النقطة (4) يتقاطع مع محور E_S على مسافة مقدارها E_{S2} (الحمولة النوعية لمقطع الجريان (2))

الفرق $E_{S_1}-E_{S_2}$ يساوي الفاقد في الطاقة خلال القفزة ΔE_S حيث:

$$\Delta E_S = E_{S_1} - E_{S_2} = (y_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (y_2 + \frac{V_2^2}{2g})$$

على ذلك فإن القفزة المائية يمكن تمثيلها دائماً على منحني الحمولة النوعية بخط مائل (مثلاً الخط 4 - 3) ويمكن تمثيلها دائماً على منحني القوى النوعية بخط شاقولي (مثلاً الخط 2 - 1).



الشكل(5-13) العلاقة بين الحمولة النوعية والقوى النوعية والقفزة

5-11 شكل منحني الجريان في القناة الخلفية بعد السقوط من المنشآت (سد هدار– منشأة سقوط – بوابات):

تتشكل القفزة المائية خلف المنشآت المائية مباشرة (الهدارات – منشآت السقوط – البوابات) حيث يكون الجريان فوق حرج شلالي، ويصل عمق الماء الى أقل قيمة له y_s عند مقطع معين يسمى بالمقطع المنضغط حيث تكون $y_s<y_C$ الشكل(5-14).

يمكن أن نميز هنا الحالتين التاليتين:

5-11-1 ميل القناة الخلفية أكبر من الميل الحرج $J>J_C$ وتعتبر هذه الحالة نادرة الحدوث في الحياة العملية.

b) عندما يكون العمق المنضغط y_s أصغر من عمق الماء في القناة الخلفية $y_d>y_s$ ويكون ميل قاع القناة الخلفي ميلاً شديد الانحدار فيتم الاتصال بشكل المنحني S_3 .

c) عندما تقوم القناة الخلفية بحجز وتجميع المياه يصبح عمق الماء فيها أكبر من العمق الحرج $y_d>y_C$ ويكون الجريان في المجرى الخلفي بعيداً عن المنشأة جرياناً دون الحرج أي نهري. وعلى ذلك فان الاتصال خلف المنشاة يتم في صورة قفزة مائية وانه من خلال هذه القفزة تتبد الزيادة في الطاقة في الجريان فوق الحرج عنها في الجريان تحت الحرج. وبمعرفة شكل مقطع القناة خلف المنشأة المائية مباشرة، وكذلك بمعرفة التدفق المار وعمق الماء في المقطع المنضغط نستطيع باستخدام المعادلة العامة للقفزة المائية تحديد قيمة العمق المرافق y_2 واللازم لتتشكل القفزة خلف المنشأة المائية.

5-11-2 ميل القناة الخلفية أصغر من الميل الحرج $J<J_C$ وهي الأكثر مصادفة في الواقع.

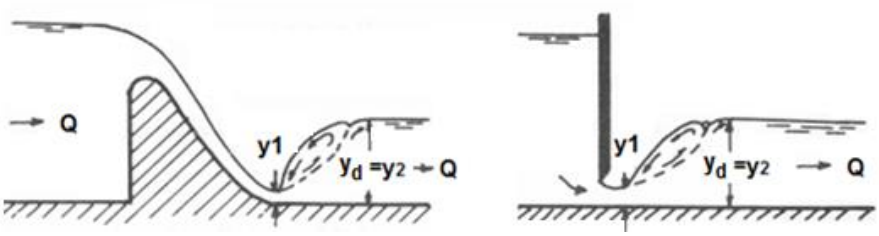
تبعاً للعلاقة بين العمق المرافق للقفزة المائية y_2 والعمق الحقيقي في الخلف y_d يتم الاتصال خلف المنشأة بتشكل قفزة مائية في ثلاث حالات مختلفة:

1) تشكل قفزة تامة:

إذا كان عمق الجريان خلف المنشأة مساوياُ للعمق المرافق للقفزة أي:

$$y_d = y_2 \qquad (39\text{-}5)$$

تتشكل قفزة مائية تامة تبدأ عند المقطع المنضغط بعمق $y_s=y_1$ وتنتهي في مقطع يبعد عن المقطع المنضغط مسافة L_J، حيث يكون العمق مقداره $y_d=y_2$ كما هو مبين في الشكل (14-5)



الشكل(14-5) قفزة تامة

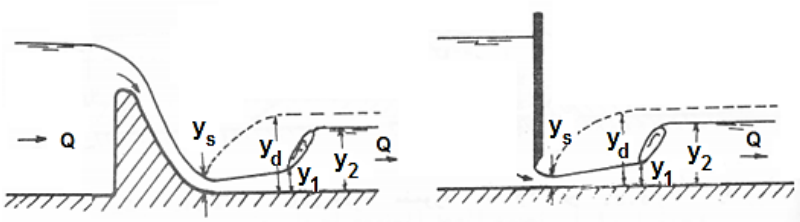
في هذه الحالة يمكن القول ان مقدار الطاقة لوحدة الوزن في المقطع المنضغط تكون أكبر من الطاقة لوحدة الوزن للجريان في الخلف بذلك المقدار الذي سيفقد خلال القفزة المائية.

2) تشكل قفزة مبتعدة:

اذا كان عمق الجريان القناة الخلفي أقل من العمق المرافق للقفزة أي أن:

$$y_d < y_2 \qquad (40\text{-}5)$$

في هذه الحالة فان القفزة المائية سوف تبتعد عن المنشأ ويسمى الطول L بطول دفع القفزة ويساوي لطول المنحني الصاعد M_3 أو طول المنحني H_3 عندما يكون ميل القناة معدوماً $J=0$ ويكون هذا الطول بين العمق المنضغط y_s والعمق المرافق الأول y_1 التي عمقها المرافق الثاني هو عمق الماء في القناة الخلفية$y_d=y_2$ كما هو موضح بالشكل (15-5)



الشكل(5-15) قفزة مبتعدة

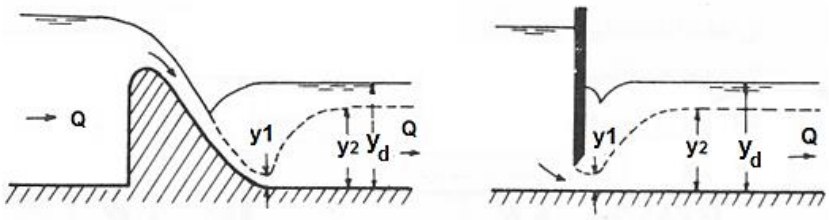
في هذه الحالة يمكن القول ان مقدار الطاقة لوحدة الوزن في المقطع المنضغط أكبر من الطاقة لوحدة الوزن في قناة الخلف بمقدار يزيد عن ذلك الذي سيفق خلال القفزة وعلى ذلك يتحرك الجريان كجريان فوق الحرج لمسافة الى أن يصبح عمقه y_1' وحتى يفقد جزء من طاقته ويتبقى جزء مساو لذلك الذي سيفقد خلال القفزة.

3) تشكل قفزة مغمورة:

اذا كان عمق الجريان جزء القناة الخلفي أكبر من العمق المرافق للقفزة أي ان:

$$y_d > y_2 \qquad (41\text{-}5)$$

في هذه الحالة فان القفزة المائية سوف تتقدم ناحية المنشأ ويتم الاتصال في صورة قفزة مغمورة ويكون $y_1=y_s$ كما هو موضح بالشكل(5-16).



الشكل(5-16) قفزة مغمورة

في هذه الحالة ندخل مفهوم جديد هو درجة الغمر χ

$$\chi = \frac{y_d}{y_2}$$

حيث y_2: العمق المرافق الثاني للعمق المنضغط والمساوي للعمق المرافق الأول y_1 . كما أن قيمة عامل الغمر دوماً أكبر من الواحد $\chi > 1$.

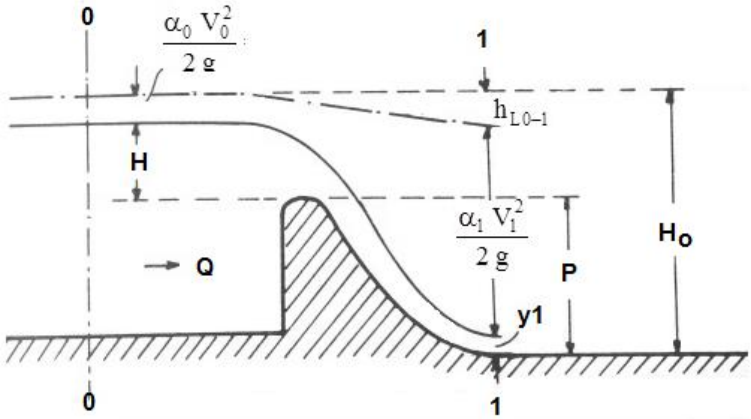
3-11-5 تحديد قيمة العمق المرافق الاول y_1

كما رأينا سابقاً، فانه لتحديد صورة الاتصال خلف المنشأة المائية، يجب معرفة قيمة العمق المنضغط y_1 .

حساب قيمة العمق المرافق المنضغط y_1 .

a) الجريان من فوق هدار والموضح بالشكل (5-17) يمكن الحصول على قيمة العمق المنضغط y_1 بتطبيق معادلة برنوللي بين المقطعين (0-0)، (1-1) حيث:

$$P + H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{L0-1} \qquad (42\text{-}5)$$



الشكل(5-17) تحديد العمق المنضغط لجريان مار من على هدار

الفاقد في الطاقة h_{L0-1} يمكن التعبير عنه على الصورة:

$$h_{L0-1} = K \frac{V_1^2}{2g} \qquad (43\text{-}5)$$

حيث: K معامل الفاقد في الضاغط خلال الهدار وتعتمد قيمته على شكل الهدار.

كما أن الطاقة الكلية لوحدة الوزن في المقطع (O) يمكن التعبير عنها كما يلي:

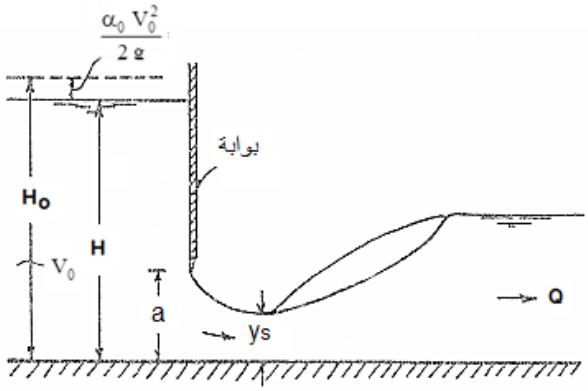
$$H_0 = P + H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \qquad (44\text{-}5)$$

على ذلك فان المعادلة يمكن اعادة كتابتها على الصورة:

$$H_0 = y_1 + (\alpha_1 + K)\frac{V_1^2}{2g} \qquad (45\text{-}5)$$

b) الجريان من تحت البوابات:

في كثير من المنشآت يتم التحكم في المياه بواسطة فتحات مغلقة بالبوابات ترفع البوابة لمسافة a حتى تسمح بمرور تدفق معين Q من تحتها كما هو مبين الشكل(5-18).



الشكل(5-18) تحديد العمق المنضغط لجريان مار من أسفل بوابة

من الممكن أن يكون الجريان من تحت البوابة حراً أو مغموراً. نبحث أولاً حالة الجريان الحر بالشكل في هذه الحالة فان الماء الخارج من الفتحة يحدث له انضغاط في المستوى الشاقولي من الناحية العليا فقط، ويقل العمق في اتجاه الجريان حتى يصل الى أقل قيمة له y_s على بعد من البوابة يساوي تقريباً ارتفاع الفتحة a . يمكن التعبير عن y_s على الصورة الآتية:

$$y_s = C_c\, a \qquad (46\text{-}5)$$

حيث C_c: هو معامل الانضغاط.

وجد جوكوفسكي من نتائج التجارب المخبرية التي أجراها أن المعامل C_c تتغير قيمته تبعاً لتغير النسبة $\frac{a}{H}$ ، بالشكل الموضح بالجدول التالي:

$\frac{a}{H}$	C_c	$\frac{a}{H}$	C_c	$\frac{a}{H}$	C_c	$\frac{a}{H}$	C_c
0.10	0.615	0.35	0.628	0.60	0.660	0.85	0.745
0.15	0.618	0.40	0.630	0.65	0.675	0.90	0.780
0.20	0.620	0.45	0.638	0.70	0.690	0.95	0.835
0.25	0.622	0.50	0.645	0.75	0.705	1.00	1.000
0.30	0.625	0.55	0.650	0.80	0.720	–	–

كما وجد أن قيمة المعامل C_c لا تعتمد على عرض البوابة أو عرض القناة. بتطبيق معادلة برنوللي بين مقطعي جريان أحدهما قبل البوابة وآخر عند المقطع المنضغط نستطيع بسهولة استنتاج أن:

$$V_s = C_v 2g\left(H_0 - y_s\right) \qquad (46\text{-}5)$$

حيث:

C_v: معامل السرعة ومقداره:

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{(\alpha_0 - K_s)}} \qquad (47\text{-}5)$$

كما أن:

$$H_0 + \alpha_0 \frac{V_0^2}{2\,g} \qquad (48\text{-}5)$$

وعلى ذلك يكون التدفق المار من تحت البوابة في هذه الحالة مقداره:

$$Q = A_s\ V_s = C_d\ a\ b\ \sqrt{2\,g\,(H_0 - y_s)} \qquad (49\text{-}5)$$

حيث:

b: عرض البوابة

C_d: معامل التدفق ومقداره: $C_d = C_c C_v$

بالنسبة للجريان الحر من تحت البوابات على قاع أفقي كما هو موضح بالشكل فان قيمة المعامل C_v تتراوح بين الحدود التالية:

$$C_v = 0.95 \quad \rightarrow \quad 0.97 \qquad (50\text{-}5)$$

اذا كان الجريان مغموراً كما هو مبين بالشكل الشكل(5-19) فان التدفق المار من تحت البوابة يمكن حسابه من المعادلة:

$$Q = C_d\ a\ b\ \sqrt{2\,g\,(H_0 - y_z)} \qquad (51\text{-}5)$$

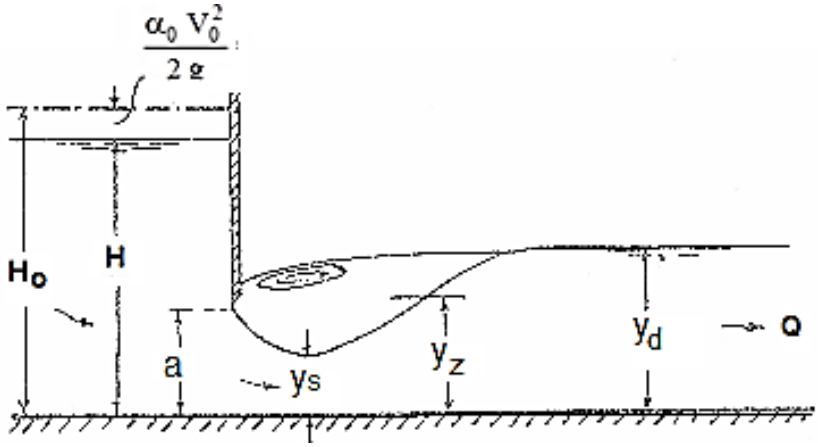
حيث:

$$y_z = \sqrt{y_d^{-2} - L\left(H_0 - \frac{L}{4}\right) + \frac{L}{2}} \qquad (52\text{-}5)$$

و:

$$L = 4\,C_d^2\,a^2\,\frac{y_d - y_c}{y_d\ y_c} \qquad (53\text{-}5)$$

y_d: هو عمق الماء في الخلف بعيداً عن البوابة . كما أنه في تلك الحالة تحسب قيمة المعامل C_d كما تم حسابها في حالة الجريان الحر من تحت البوابة.



الشكل(5-19) تحديد العمق المنضغط لجريان مار من أسفل بوابة

عند دراسة وحساب اتصال المستويات لابد وقبل كل شيء من أن نحدد وفق أي نوذج من النماذج الثلاثة المذكورة أعلاه يتم اتصال المستويات المائية، من أجل ذلك نتبع ما يلي:

- نوجد العمق المنضغط y_S.
- نتخيل وجود قفزة مائية وهمية في المقطع المنضغط عمقها المرافق الاول يساوي للعمق المضغوط y_S
- نحدد العمق المرافق الثاني y_2 من المعادلة الأساسية للقفزة بعد ذلك نناقش الحالات التالية:

1) منسوب الماء في القناة الخلفية أصغر من منسوب القفزة الوهمية $y_d<y_2$. نحصل على قفزة مبتعدة

2) منسوب الماء في القناة الخلفية أكبر من منسوب القفزة الوهمية $y_d>y_2$. نحصل على قفزة مغمورة.

3) منسوب الماء في القناة الخلفية يساوي منسوب القفزة الوهمية $y_d=y_2$. في هذه الحالة تصبح القفزة الوهمية حقيقية .

c) التدفق التصميمي Q_D :

في تطبيقات المنشآت المائية، عادة يتغير التدفق المار خلال المنشأ بين قيمة صغرى

Q_{min} وقيمة قصوى (Q_{max}). من الاهمية عند التصميم الهيدروليكي للمنشأ معرفة التدفق التصميمي Q_D والذي على أساسه سوف تراجع صورة الاتصال خلف المنشأ.

من وجهة نظر الاتصال خلف المنشأ، يعرف التدفق التصميمي Q_D بأنه ذلك التدفق الذي عند مروره يتكون يتكون أسوأ وضع للقفزة المائية خلف المنشأ.

من الواضح أنه مع اختلاف قيمة التدفق المار ستختلف صورة الاتصال خلف المنشأ.

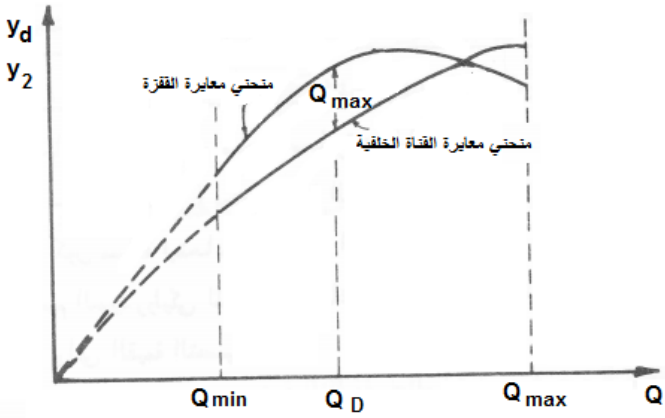
من ناحية التصميم الهيدروليكي تعتبر الحالة الثانية للاتصال (حالة القفزة المبتعدة) هي أسوأ الحالات التي يمكن حدوثها حيث أنه في هذه الحالة تحدث القفزة بعيداً عن المنشأ في المنطقة الغير محمية من القناة مما يسبب حدوث حت في القناة. يجب كذلك الاشارة الى أنه في الحالة الاولى (حالة قفزة تامة) والتي تعتبر حالة حدية بين الحالتين الثانية والثالثة فان أي زيادة في قيمة العمق المرافق y_2 عن القيمة المحسوبة والتي يمكن حدوثها نتيجة لتغير قيمة المعاملات (α,k) عن القيم المأخوذة في الاعتبار عند حساب قيمة y_1

المعادلة (5-45) سيؤدي الى ابتعاد القفزة في الخلف مما يسبب حدوث حت في قاع القناة.

يمكن تحديد قيمة التدفق التصميمي Q_D واللازم لمراجعة صورة الاتصال برسم منحنيين هما:

- منحني معايرة القناة الخلفية، وهو منحني يربط العلاقة بين التدفق Q الذي يتغير من Q_{min} وحتى (Q_{max}) وبين العمق العادي في القناة الخلفية y_d.
- منحني معايرة القفزة، وهو منحني يربط العلاقة بين التدفق Q يتغير من Q_{min} وحتى (Q_{max}) وبين العمق النهائي للقفزة y_2 .

برسم المنحنيين على مخطط بياني واحد والموضح بالشكل (5-20)



الشكل(5-20) تحديد التدفق التصميمي

يمكن تحديد قيمة التدفق التصميمي Q_D والمناظر لقيمة (a_{max})

حيث:

$$a = y_2 - y_d \qquad (54\text{-}5)$$

ملاحظة:

اذا اظهر المخطط البياني أن قيمة (a=0) لجميع قيم التدفق المعطاة، أي أن المنحنيين منطبقين على بعضهما، وهي حالة نادرة الحدوث، فان ذلك يعني حدوث حالة الاتصال الأولى بصفة دائمة(اتصال من خلال قفزة تامة). أما اذا أظهر المنحني أن قيمة (a<0) باستمرار لجميع قيم التدفق المعطاة، فان ذلك يعني حدوث حالة الاتصال الثالثة بصفة دائمة (اتصال من خلال قفزة مغمورة).

5-11-4 المنشآت المستخدمة لتبديد الطاقة الزائدة خلف منشأة مائية:

بمراجعة المنحني البياني الذي يوضح منحني معايرة القناة الخلفية ومنحني معايرة القفزة المائية شكل (5-20) يمكن معرفة التدفق التصميمي والذي يكون عنده(a_{max}) ، أي تكون مسافة ابتعاد القفزة عن المنشأ اكبر مايمكن.

يراعى في حالات التصميم الهيدروليكي للمنشآت المائية أن تكون القفزة مغمورة بعض الشيئ ، حيث تراعى القيمة التصميمية:

$$y_d \cong 1.05\, y_2$$

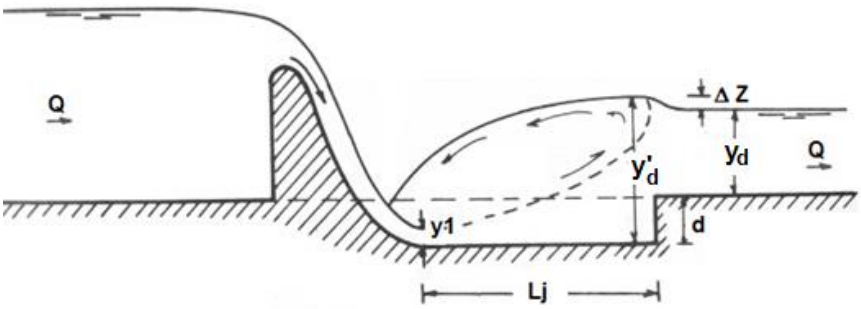
يتم تحقيق ذلك باستخدام المنشآت التالية.

a) حوض التهدئة

يتم ذلك بجعل منسوبي الفرش بعد المنشأ مباشرة أقل من منسوب القاع للقناة الخلفية بمقدار (d) كان لزيادة العمق في الحوض الى y'_2 حيث:

$$y_d = 1.05\, y_2 \qquad (55\text{-}5)$$

يوضح الشكل شكل حوض التهدئة والمقام خلف هدار.



الشكل(5-21) حوض تهدئة

يصمم الحوض هيدروليكياً بالطريقة التالية:

نفرض ان d=0 من المعادلة (5-45) يمكن تحديد قيمة y_1 من ثم من معادلة حساب المرافق يمكن تحديد y_2 ثم باستخدام المعادلة (5-55) يمكن تحديد قيمة y_d .

من الشكل(5-21) يمكن كتابة المعادلة:

$$y'_d = y_d + d + \Delta Z \qquad (56\text{-}5)$$

ان قيمة ΔZ يمكن تحديدها من المعادلة:

$$Q = y_d\, b\, C_V \sqrt{2\, g\, \Delta Z} \qquad (57\text{-}5)$$

حيث C_V :معامل السرعة والذي تتراوح قيمته بحدود:

$$C_V = 0.9 \quad \rightarrow \quad 0.95 \qquad (58\text{-}5)$$

على ذلك من المعادلتين(5-56) و(5-57) يمكن تحديد قيمة عمق الحوض (d) .

تؤخذ قيمة (d) أكبر قليلاً من القيمة المحسوبة ، وتراجع الحسابات مرة اخرى حيث ستقل قيمة (y_1) عن القيمة المحسوبة وذلك نتيجة لزيادة قيمة (P) وعلى ذلك تزيد قيمة (y_2)

وبالتبعية تزيد قيمة (y'_d).

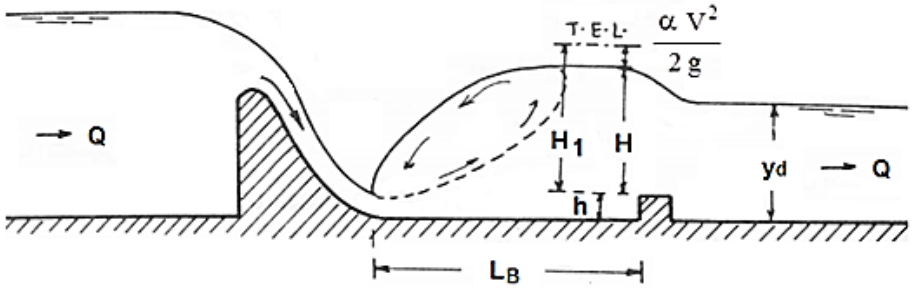
يؤخذ طول الحوض (L_B) مساوياً:

$$L_B \cong 3\, y_2 \qquad (59\text{-}5)$$

b) الاعتاب:

يتم ذلك بانشاء عتبات على الفرش يرتفع عنه مسافة h كافية لزيادة العمق أمامه (y'_d) كما في حالة حوض التهدئة.

يوضح شكل (5-22) وضع العتب على الفرش وشكل الجريان المار في هذه الحالة



الشكل(5-22)

يتم التصميم الهيدروليكي بالطريقة التالية:

1) نحدد قيمة y'_d من المعادلة (5-55)

2) نحسب قيمة الضاغط H من المعادلة

$$H = H_1 - \frac{\alpha V^2}{2g} \qquad (5\text{-}60)$$

حيث:

$$H_1 = \left(\frac{Q}{C_d\, b\, 2g}\right)^{2/3} \qquad (5\text{-}61)$$

وقيمة معامل التدفق C_d تأخذ القيمة

$$C_d = 0.45 \quad \rightarrow \quad 0.50 \qquad (5\text{-}62)$$

ان

$$V = \frac{Q}{b\,(H+h)} \qquad (5\text{-}63)$$

نحسب قيمة (h) من المعادلة:

$$h = y'_d - H \qquad (5\text{-}64)$$

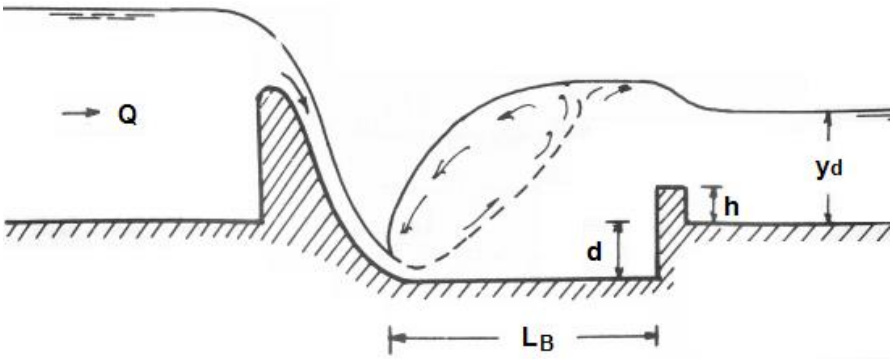
لحساب قيمة(V) باستخدام العلاقة (5-63) نفرض أولاً قيمة h=0 ثم نحسب قيم (h, H, H_1, V) ثم يعاد الحساب مرة أخرى.

الطول L_B يؤخذ تقريباً مساوي لطول حوض التهدئة أي أن:

$$L_B = 3\,y_2 \qquad (65\text{-}5)$$

c) حوض التهدئة المركب:

في حالة مراجعة التصميم الهيدروليكي بالطريقتين السابقتين، واذا أن الابعاد المستنتجة غير مناسبة مثلاً عمق الحوض كبير نسبياً أو ارتفاع الحائط كبير هو الآخر نسبياً، فيفضل انشاء حوض تهدئة مركب والموضح بالشكل(5-23)



الشكل(5-23) حوض مركب

لتصميم الحوض هيدروليكياً في هذه الحالة ، يكون هناك مجهولين هما(d,h) .

نفرض أحد البعدين المجهولين ثم يتم التصميم باحدى الطريقتين السابقتينو طول الحوض في هذه الحالة L_B يؤخذ أيضاً كما في الحالتين السابقتين.

تطبيقات الفصل الخامس

تطبيق(5-1) :

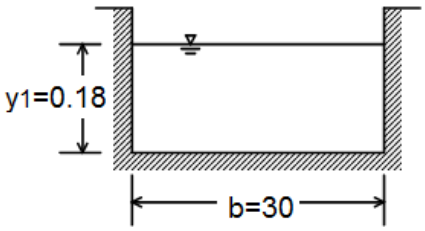
قناة ذات مقطع مستطيل عرضها b=30m وسرعة الجريان الموافق للعمق الشلالي في قفزة مائية V=5.5m/sec والمطلوب:

1) أوجد قيمة العمق المرافق النهري

2) أوجد رقم فرود عند بداية ونهاية القفزة.

3) ضياع الحمولة الناتج عن القفزة.

الحل



$$F_{r_1} = \frac{V_1}{\sqrt{g.y_1}} = \frac{5.5}{\sqrt{9.81\times 0.18}} = 4.14 > 1$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1+8\,F_{r1}^2} - 1\right]$$

$$y_2 = \frac{0.18}{2}\left[\sqrt{1+8\times 4.14^2} - 1\right] = 0.97\text{m}$$

$$q = V_1.y_1 = V_2.y_2$$

$$5.5\times 0.18 = V_2\ (0.97) \Rightarrow V_2 = 1.02\text{m/sec}$$

$$F_{r_2} = \frac{v_2}{\sqrt{g\ y_2}} = \frac{1.02}{\sqrt{9.81\times 0.97}} = 0.33 < 1$$

لحساب ضياع الحمولة الناتج عن القفزة نكتب:

$$E_{s_1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2.g} = 0.18 + \frac{5.5^2}{2\times 9.81} = 1.72\ \text{m}$$

$$E_{s_2} = y_2 + \frac{V_2^2}{2.g} = 0.97 + \frac{1.02^2}{2\times 9.81} = 1.02\ \text{m}$$

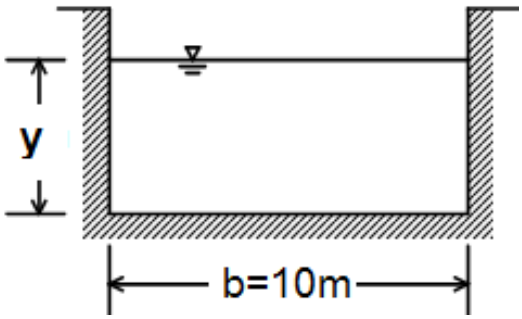
$$\Delta E_s = E_{s_1} - E_{s_2} = 1.72 - 1.02 = 0.7\ \text{m}$$

تطبيق(2-5) :

قناة ذات مقطع مستطيل عرضها b=10m وتمرر تدفقاً مقداره $Q=15m^3/sec$ والمطلوب:

ارسم منحني الحمولة النوعية و منحني القوى النوعية مستنتجاً قيم العمق الحرج و ضياع الحمولة الناتج عن القفزة إذا علمت أن العمق المرافق النهري $y_2=1.5m$

الحل



$$A = b\,y = 10\,y$$

لحساب العمق الحرج

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{15}{10} = 1.5\,m^3/sec/m$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1.5^2}{9.81}} = 0.612m$$

لرسم منحني الحمولة النوعية نكتب:

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

$$E_s = y + \frac{15^2}{2 \times 9.81 \times 10^2 \times y^2}$$

$$E_s = y + \frac{1}{8.72 \times y^2}$$

لرسم منحني القوى النوعية نكتب:

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

$$Y = \frac{15^2}{9.81 \times 10y} + 10\,\frac{y^2}{2} = 5\,y^2 + \frac{2.293}{y}$$

y m	**A m2**	**V m/s**	**$V^2/2g$ m**	**Es m**	**Y m3**
0.18	1.8	8.33	3.54	3.72	12.90
0.20	2.0	7.50	2.87	3.07	11.67
0.40	4.0	3.75	0.72	1.12	6.53
0.60	6.0	2.50	0.32	0.92	5.62
0.80	8.0	1.88	0.18	0.98	6.07
1.00	10.0	1.50	0.11	1.11	7.29
1.20	12.0	1.25	0.08	1.28	9.11
1.40	14.0	1.07	0.06	1.46	11.44
1.60	16.0	0.94	0.04	1.64	14.23
1.80	18.0	0.83	0.04	1.84	17.47
2.00	20.0	0.75	0.03	2.03	21.15

نرسم المنحنيات من القيم في الجدول السابق فيكون:

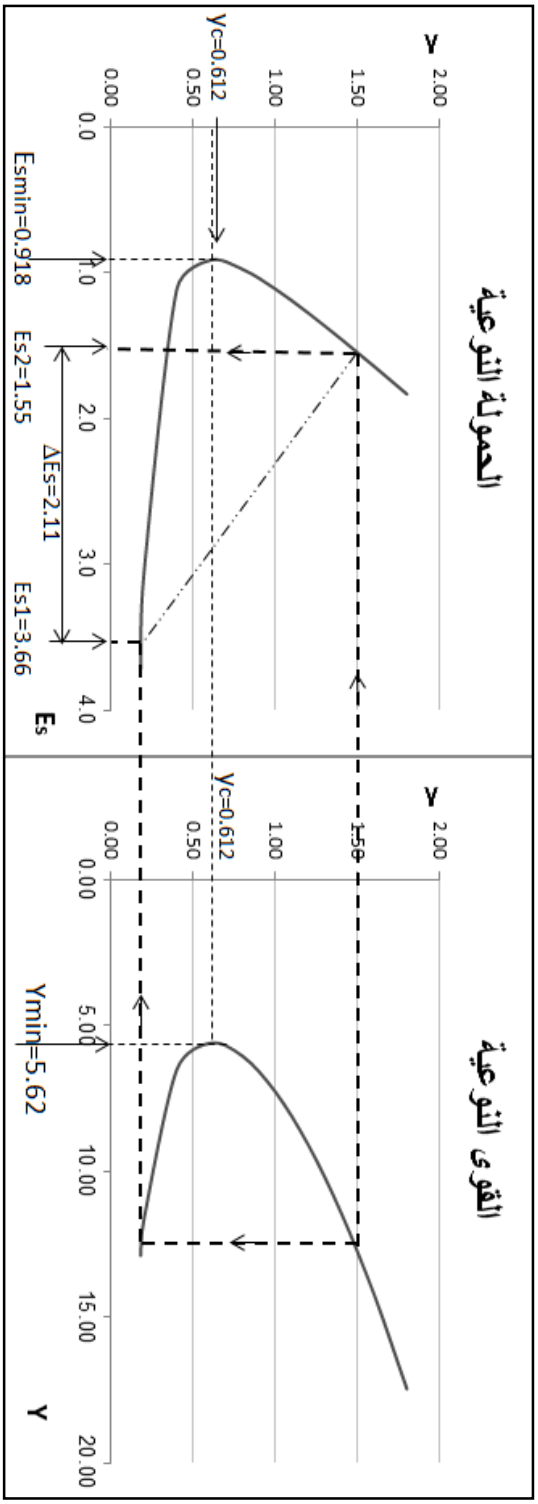
ومن أجل $y_2 = 1.5m$ نجد من المنحني $y_1 = 0.18m$

أما ضياع الحمولة الناتج عن القفزة فيكون:

$$\Delta E_s = E_{s1} - E_{s2} = 3.66 - 1.55 = 2.11m$$

أما عمق القفزة فيكون:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = 1.5 - 0.18 = 1.32m$$


الحمولة النوعية
Y
2.00
1.50
1.00
yc=0.612
0.50
0.00
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
Es
Esmin=0.918
Es2=1.55
ΔEs=2.11
Es1=3.66
القوى النوعية
Y
2.00
1.50
1.00
yc=0.612
0.50
0.00
0.00
5.00
10.00
15.00
20.00
Y
Ymin=5.62

تطبيق(3-5) :

تحدث قفزة مائية في قناة ذات مقطع مستطيل فإذا علمت أن ارتفاع الماء في القناة قبل حدوث القفزة $y_1=0.5m$ وأن ارتفاع الماء بعد القفزة أصبح مساوياً $y_2=0.85m$ فالمطلوب:

1) استنتاج علاقة السرعة قبل القفزة و بعدها بدلالة العمقين المترافقين.
2) حساب قيمة السرعة قبل القفزة و بعدها.
3) حساب قيمة التدفق لوحدة العرض المار في القناة.
4) حساب الضياع الناتج عن القفزة و مردود القفزة.
5) حساب العمق الحرج.

الحل:

بالاعتماد على المعادلة العامة للقفزة

$$\frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \bar{y}_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \bar{y}_2$$

إذا كان عرض القناة b

$$A_1 = y_1 b$$
$$A_2 = y_2 b$$
$$\bar{y}_1 = \frac{y_1}{2}$$
$$\bar{y}_2 = \frac{y_2}{2}$$

$$\frac{Q^2}{g y_1 b} + b\frac{y_1^2}{2} = \frac{Q^2}{g y_2 b} + b\frac{y_2^2}{2}$$

$$y_2^2 - y_1^2 = \frac{2}{b}\frac{Q^2}{g b}\left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2}\right)$$

$$(y_2 - y_1)(y_2 + y_1) = \frac{2 Q^2}{g b^2}\left(\frac{y_2 - y_1}{y_1 y_2}\right)$$

نقسم طرفي المعادلة على $(y_2 - y_1) \neq 0$ فيصبح لدينا:

$$y_2 + y_1 = \frac{2\,Q^2}{g\,b^2}\left(\frac{1}{y_1\,y_2}\right)$$

$$Q = A_1\,V_1 = A_2\,V_2$$

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

$$V_1^2 = \frac{g}{2}\frac{y_2}{y_1}(y_2 + y_1) = \frac{1}{2}g\,y_1\frac{y_2}{y_1}\left(1 + \frac{y_2}{y_1}\right)$$

$$V_2^2 = \frac{1}{2}g\,y_2\frac{y_1}{y_2}\left(1 + \frac{y_1}{y_2}\right)$$

$$V_1 = 3.355\ m/sec$$

$$V_2 = 1.97\ m/sec$$

3) $q = \frac{Q}{b} = \frac{V_1\,A_1}{b} = \frac{V_1\,b\,y_1}{b} = V_1\,y_1 = 1.677\ m^3/sec.m$

4) $\Delta E_s = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4\,y_1\,y_2} = 0.025\ m$

$$\eta = \frac{4\,y_1\,y_2}{(y_2 + y_1)^2} = 0.93$$

5) $y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 0.66\ m$

تطبيق(5-4) :

عين المنحني المرافق للخط الممثل للسطح الحر الشلالي في قناة ذات مقطع شبه منحرف عرضها b=3m ، معدل ميل الجوانب m=1.5 علماً بأن التدفق المار فيها $Q=16.4m^3/sec$، ثم حدد موضع القفزة إذا كانت الشروط النهائية تفرض جرياناً نهرياً وباعتبار احداثيات الخطين الممثلين لسطح الماء الشلالي والنهري معطاة في الجدول التالي:

الفاصلة X (m)	0	35	65	90	107	113	130
y_1 (m)	0.6	0.7	0.8	0.9	–	1	1.1
y_2 (m)	1.8	-	1.7	1.65	1.6	-	1.5

الحل:

1) حساب العمق الحرج في القناة:

$$\frac{Q^2}{g}=\frac{A^3}{T} \qquad A=(b+my)y \qquad T=b+2my$$

$$\frac{(16.4)^2}{9.81}=\frac{((3+1.5\,y)\,y)^3}{3+3\,y} \quad \Rightarrow$$

بالتجريب نحصل على قيمة العمق الحرج $y_C=1.18\,m$

2) حساب المنحني المرافق للمنحني الشلالي:

نعود للمعادلة العامة للقفزة ونكتب:

$$Y=\frac{Q^2}{g\,A_1}+A_1\,\bar{y}_1=\frac{Q^2}{g\,A_2}+A_2\,\bar{y}_2$$

$$Y=\frac{q^2}{g\,y_1}+\frac{y_1^2}{2}=\frac{q^2}{g\,y_2}+\frac{y_2^2}{2}$$

نرسم خط رد الماء النهري والشلالي ثم نعطي لy مجموعة من القيم بدءاً من القيمة y=0.1m ونحسب منها قيمة تابع القوى النوعية ونرتب جميع النتائج في جدول كالآتي:

y	القوى النوعية Y
0.1	87.06
0.2	41.61
0.4	19.31
0.6	12.37
0.8	9.38
1	8.09
1.2	7.78
1.4	8.15
1.6	9.06
1.8	10.45
2	12.29
2.2	14.56
2.4	17.28

نرسم منحني القوى النوعية واعتماداً على هذا المنحني يمكن أن نرسم المنحني المرافق للمنحني الشلالي.

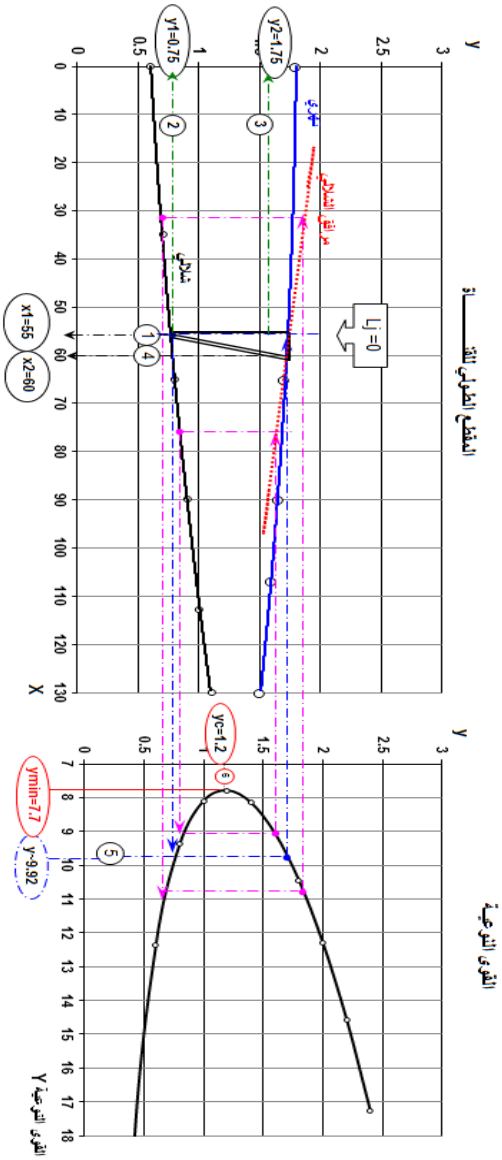
طول القفزة معدوم:

يتقاطع المنحني النهري في نقطة .نقطة تقاطع المنحنيين الانفي الذكر تعبر عن موقع القفزة. من الشكل نجد ان القفزة تحدث في موقع فاصلته x=60m

طول القفزة غير معدوم:

نعيد رسم خطي رد الماء النهري والشلالي ومرافق الخط الشلالي ، نرسم المثلث المساعد

ضلعه القائم الشاقولي $\Delta y=1$ وضلعه الأفقي $L_j=5$ فيعطي وتره الميل الوسطي للسطح الحر في موقع القفزة.من الشكل نجد موقع بداية القفزة x=55m ونهايتها x=60m.



تطبيق(5-5) :

مطلوب إنشاء قناة مقطعها على شكل شبه منحرف في أرض رملية لتروي مساحة مقدارها 5000 hectar علماً أن المقنن المائي مقداره للهكتار الواحد$100m^3$/hectar/day والقناة سوف يتم تبطينها بالبيتون لمنع تسرب المياه للتربة. والمطلوب:

1- حساب أبعاد القناة اللازمة حتى يكون قطاعها هو الأفضل هيدروليكياً. إذا علم أن الميل الطولي للقاع J=10cm/km ومعامل الخشونة n=0.014

2- إذا كان سطح المياه في القناة أسفل منسوب أرض الزراعة بمقدار 50cm فاحسب تكاليف الحفر والتبطين لكل كيلومتر طولي من القناة علماً أن تكاليف الحفر 20 ل.س لكل متر مكعب وتكاليف التبطين 100 ل.س لكل متر مربع.

3- أقيم منشأ للتحكم في المياه على هذه القناة يمر الماء خلاله من تحت بوابة، فإذا كان مخرج المنشأ خلف البوابة مقطعه مستطيل الشكل وعرضه مساوٍ لعرض القاع حتى نهاية الفرش، فالمطلوب: حساب أقل عمق لازم للمياه في المقطع المنضغط والذي تجعل القفزة المتكونة خلفها قفزة تامة.

4- احسب أقل طول ممكن للفرش في هذه الحالة وكذلك الطول الذي يجب حمايته خلف الفرش بعمل تكسية له وذلك علماً أن $L_j = 10.3y_1\left(F_1 - 1\right)^{0.81}$

الحل

أولاً:

المقطع الأفضل هيدروليكياً على شكل شبه منحرف

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 2\sqrt{1+m^2} - m = 2\sqrt{1+(0.577)^2} - 0.577 = 1.732$$

$$Q = \frac{100 \times 5000}{24 \times 3600} = 5.787\ m^3/sec$$

$$A = \lambda\ y^2 = 1.732\ y^2$$

$$P = 2\lambda\ y$$

$$R_h = \frac{y}{2}$$

بالتعويض في معادلة مانينغ نجد:

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

$$5.787 = \frac{1}{0.014} \times (1.732\, y^2)(0.5\, y)^{2/3} \sqrt{10^{-4}} \quad \Rightarrow \quad y^{8/3} = 7.425$$

$$y = 2.12 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad b = (\lambda - m)\, y = (1.732 - 0.577) \times 2.12 = 2.45 \text{ m}$$

وبذلك تصبح مساحة المقطع الكلية A_T:

$$A_T = (2.45 + \frac{2.62}{\sqrt{3}}) \times 2.62 = 10.382 \text{ m}^2$$

وبالتالي تكون كلفة الحفر لكل كيلومتر طولي C_E :

$$C_E = 10.382 \times 1000 \times 20 = 207643 \text{ ل.س} / \text{Km}'$$

كما أن طول المحيط المبلول سيكون مقداره F_T:

$$F_T = 2.45 + 2 \times 2.62 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 8.5 \text{ m}$$

وتكون تكاليف التبطين لكل كيلومتر طولي C_L :

$$C_L = 8.5 \times 1000 \times 100 = 850000 \text{ ل.س} / \text{Km}'$$

وبالتالي تصبح التكاليف الإجمالية لإنشاء القناة:لكل متر طولي C_T:

$$C_T = C_E + C_L = 1057643 \text{ ل.س} / \text{Km}'$$

ثانياً:

نفرض أقل عمق لازم للمياه في المقطع المنضغط والذي تجعل القفزة المتكونة تامة مقداره y_1 والذي يمكن تحديده كما يلي:

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{5.787}{2.45 \times 2.12} = 1.114 \text{ m/sec}$$

$$F_{r_2} = \frac{V_2}{\sqrt{g\, y_2}} = \frac{1.114}{\sqrt{9.81 \times 2.12}} = 0.244$$

$$y_1 = 0.5\, y_2 (\sqrt{1 + 8 F_{r_2}^2} - 1)$$

$$y_1 = 0.5 \times 2.12 (\sqrt{1 + 8 \times (0.244)^2} - 1) = 0.228 \text{m}$$

حساب أقل طول ممكن للفرش سيكون مساوي لطول القفزة L_j ومقداره يمكن تحديده كالتالي:

$$V_1 = \frac{Q}{b_1\ y_1} = \frac{5.787}{2.45 \times 0.228} = 10.36\ m/sec$$

$$F_{r_1} = \frac{V_1}{\sqrt{g\ y_1}} = \frac{10.36}{\sqrt{9.81 \times 0.228}} = 6.927$$

$$L_j = 10.3\ y_1\ (F_1 - 1)^{0.81}$$

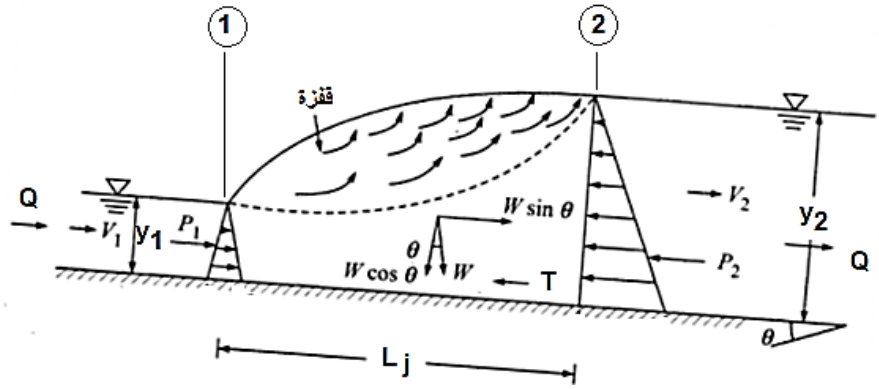
$$L_j = 10.3 \times 0.228 \times (5.927)^{0.81} = 9.93\ m \approx 10\ m$$

والطول الذي يجب حمايته خلف الفرش بعمل تكسية له يمكن حسابه من العلاقة:

$$L_j = (2.5 \rightarrow 3)\ L_j = 25 \rightarrow 30\ m$$

تطبيق(5-6) :

استنتج علاقة مبسطة بقدر الإمكان لتحديد العلاقة بين العمقين المترافقين لقفزة هيدروليكية في قناة ميل قاعها كبير ومقطعها مستطيل الشكل.



الحل

نفصل كتلة الماء المحصورة في القفزة الهيدروليكية بين مقطعي الجريان عند بداية القفزة (1) وعند نهايتها (2) ونطبق على هذه الكتلة معادلة التغير في كمية الحركة.

نعتبر أن الضغوط في مقطعي الجريان (1) و (2) موزعة هيدروستاتيكياً ونعتبر السرعات موزعة بانتظام في هذين المقطعين. كما نهمل تأثير قوى الاحتكاك مع القاع والجوانب في منطقة القفزة فتصبح معادلة التغير في كمية الحركة على الصورة التالية:

$$\rho Q(V_2 - V_1) = P_1 + W\sin\theta - P_2$$

$$P_1 = \frac{1}{2}\gamma\ y_1^2\cos\theta b$$

$$P_2 = \frac{1}{2}\gamma\ y_2^2\cos\theta b$$

$$Q = b\ y_1 V_1 = b\ y_2 V_2$$

بالتعويض في علاقة كمية الحركة نجد:

$$\frac{\gamma}{g}\ b\ y_1 V_1 (\frac{V_1\ y_1}{y_2} - V_1) = \frac{1}{2}\gamma\ b\cos\theta\ (y_1^2 - y_2^2) + W\sin\theta$$

$$\frac{2\ y_1 V_1^2}{g}(\frac{y_1 - y_2}{y_2}) = (y_1^2 - y_2^2)\ \cos\theta + \frac{2W\sin\theta}{\gamma\ b}$$

على اعتبار أن

$$W = \gamma\left(\frac{y_1 + y_2}{2}\right) L\ b\ K$$

أي أن شكل المساحة المستوية المحصورة بين المقطعين (1) و (2) تعتبر مساحة شبه منحرف مضروبة بمعامل تصحيح K حيث أن K معامل يعبر عن اختلاف الشكل الحقيقي لسطح المياه خلال القفزة عن الخط المستقيم.

بالتعويض بالعلاقة (3) في (2) ينتج أن:

$$\frac{2y_1 V_1^2}{g}\left(\frac{y_1 - y_2}{y_2}\right) = (y_1^2 - y_2^2)\ \cos\theta + (y_1 + y_2)\ L\ K\ \sin\theta$$

وبما أن $F_{r1}^2 = \frac{V_1^2}{g y_1}$ وبالتعويض نجد:

$$2F_{r1}^2\ y_1^2\left(\frac{y_1 - y_2}{y_2}\right) = (y_1 + y_2)\left[(y_1 - y_2)\cos\theta + LK\sin\theta\right]$$

بقسمة الطرفين على $y_2\ (y_1 - y_2)$ ينتج:

$$2\ F_{r1}^2\ \frac{y_1^2}{y_2^2} = \left(\frac{y_1}{y_2} + 1\right)\left[\cos\theta + \frac{LK\sin\theta}{(y_1 - y_2)}\right]$$

بالتبسيط نجد:

$$\frac{y_2^2}{y_1^2}+\frac{y_2}{y_1}-\frac{2F_{r1}^2}{\cos\theta+\frac{L K\sin\theta}{(y_1-y_2)}}=0$$

$$\frac{y_2^2}{y_1^2}+\frac{y_2}{y_1}-2G^2=0$$

ومنه ينتج أن

$$y_2=0.5\,y_1\,(\sqrt{1+8\,G^2}-1)$$

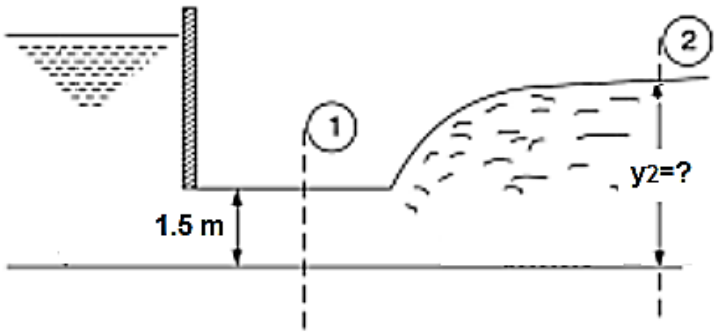
حيث:

$$G=\frac{F_{r1}}{\sqrt{\cos\theta-\frac{L\ K\ \sin\theta}{y_2-y_1}}}$$

تطبيق(5-7) :

أقيمت منشأة للتحكم في جريان المياه في قناة تمر خلالها المياه تحت بوابة. فإذا علمت أن المجرى خلف البوابة وحتى نهاية المنشأة مقطعها مستطيل الشكل، وعلى اعتبار تصرف تصميمي خارج من تحت البوابة مقداره لوحدة العرض $q=12\ m^3/sec/m'$ بعمق في المقطع المنضغط $1.5\ m$ فالمطلوب:

1- حساب العمق المرافق للقفزة المتكونة وحساب الفاقد في الضاغط خلالها.



2- بغرض تقليل العمق المرافق تم إنشاء عتبة طولية مصمتة خلف البوابة وخلال طول القفزة المتكونة تسبب نقصاناً في العمق المرافق فأصبح $y=2.5\ m$ والمطلوب حساب قيمة القوة المؤثرة على العتبة لكل متر طولي منه، وكذلك حساب قيمة الفاقد في الضاغط خلال القفزة في هذه الحالة أيضاً.

الحل

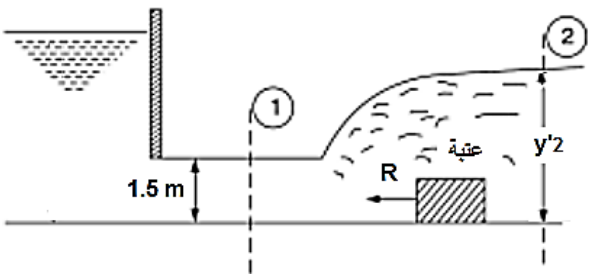
$$V = \frac{q}{y_1}$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g\,y_1}} = \frac{q}{\sqrt{g\,y_1^3}} = \frac{12}{\sqrt{9.81\times(1.5)^3}} = 2.085$$

$$y_2 = 0.5\,y_1\,(\sqrt{1+8F_{r1}^2}-1) = 0.5\times1.5\,(\sqrt{1+8\times(2.085)}-1) = 3.736\ \text{m}$$

$$\Delta E_s = \frac{(y_2-y_1)^3}{4\,y_1\,y_2} = \frac{(3.736-1.5)^3}{4\times1.5\times3.736} = 0.5\ \text{m}$$

ثانياً:



$$y_1 = 1.5\ \text{m}$$

$$V_1 = \frac{q}{y_1} = \frac{12}{1.5} = 8\ \text{m/sec}$$

$$V_2' = \frac{q}{y_2'} = \frac{12}{2.8} = 4.2857\ \text{m/sec}$$

تؤثر على القفزة قوى الضغط الهيدروستاتيكي من الطرفين والقوة المعيقة، بتطبيق معادلة كمية الحركة بين المقطع (1) و (2):

$$\frac{\gamma\,q}{g}(V_2'-V_1) = P_1 - P_2' - R$$

$$R = P_1 - P_2' - \frac{\gamma\,q}{g}(V_2'-V_1)$$

$$P_1 = \frac{1}{2}\gamma\,y_1^2 = 1.125\,t/m'$$

$$P_2' = \frac{1}{2}\gamma\,y_2'^2 = 3.92\,t/m'$$

$$R = 1.125 - 3.92 - \frac{1\times12}{9.81}\times(4.2857-8) = 1.748\ t/m'$$

أما الفاقد في الضاغط خلال القفزة في هذه الحالة فيحسب من العلاقة:

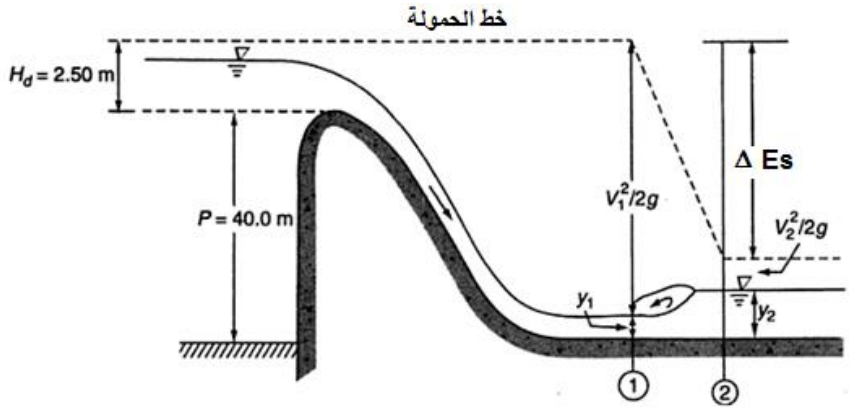
$$\Delta E_s = (y_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (y'_2 + \frac{V_2^2}{2g})$$

$$\Delta E_s = (1.5 + \frac{(8)^2}{2 \times 9.81}) - (2.8 + \frac{(4.2857)^2}{2 \times 9.81}) = 1.0258\ m$$

تطبيق(5-8) :

يبين الشكل هدار ارتفاعه P=40m والحمولة فوقه H_d=2.5m والمطلوب ايجاد العمق المرافق وضياع الحمولة للقفزة المائية المتشكلة تؤخذ C_d=0.738

الحل:



قيمة التدفق المار من فوق الهدار لوحدة العرض :

$$q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\ H_d^{3/2} = \frac{2}{3} \times 0.738 \times \sqrt{2 \times 9.81} \times (2.5)^{3/2}$$

$$q = 8.614\ m^3/s/m$$

الحمولة النوعية بين المقطعين (1) و (2):

$$P + H_d = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$y_1 + \frac{(8.614)^2}{2g\,y_1^2} = 42.5$$

بالحل نجد:

$$y_1 = 0.3\ m$$

فتكون قيمة السرعة:

$$V_1 = \frac{q}{y_1} = \frac{8.614}{0.3} = 28.71\,m/s$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g\,y_1}} = \frac{28.71}{\sqrt{9.81 \times 0.3}} = 16.74 > 1$$

والجريان شلالي

لحساب العمق المرافق

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\,F_{r1}^2} - 1\right]$$

$$\frac{y_2}{0.3} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\,(16.74)^2} - 1\right] = 23.18$$

$$y_2 = 6.954\,m$$

ضياع الحمولة الناتج عن القفزة

$$\Delta E_s = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4\,y_1\,y_2} = \frac{(6.954 - 0.3)^3}{4 \times 0.3 \times 6.954} = 35.30\,m$$

الحمولة النوعية في المقطع (1)

$$E_{S1} = y_1 + \frac{V_1^2}{2\,g} = 42.5$$

النسبة المئوية لضياع الحمولة

$$\frac{\Delta E_S}{E_{S1}} = \frac{35.30}{42.5} \times 100 = \%83$$

تطبيق(5-9) :

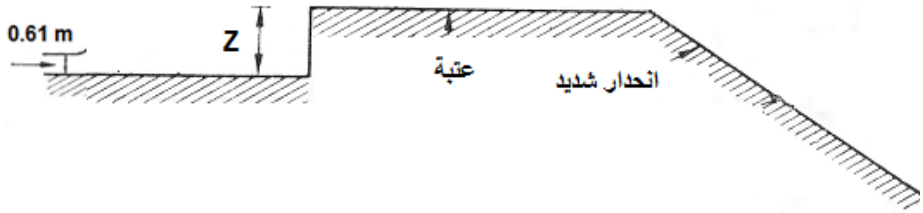
هدار على سد يصرف المياه بمعدل $Q=16.4m^3/sec$ إلى حوض تهدئة أفقي. يبلغ عمق الماء للجريان السريع عند مدخل حوض التهدئة 0.61m ، وكلا حوض التهدئة والعتبة طويلان بشكل كاف لتحقيق شروط نظامية، تلي العتبة قناة عريضة مستطيلة الشكل ميلها 0.1 والمطلوب:

1) عين ارتفاع القفزة المائية وارتفاع العتبة (Z) اللازم لتحقيق استقرارها في الموقع الموضح بالشكل المبين أدناه ؟ يهمل تبدد قدرة الجريان فوق العتبة.

2) احسب العمق النظامي للجريان في القناة أسفل التيار؟ (عامل مانينغ n=0.015).

3) ارسم مقطع سطح الماء وعين صنفه عند المقاطع المختلفة؟

4) ماهي الصعوبات العملية التي تتوقع حدوثها خلال عمل المنشأة؟



الحل:

1) رقم فرود للجريان:

$$F_{r1} = \frac{q^2}{g\,y^3} \approx 350$$

نسبة العمقين المترافقين:

$$y_2 / y_1 = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8\,F_{r1}} - 1\right) = 26$$

ومنه:

$$y_2 = 26\,y_1 = 15.8\,\text{m}$$

القدرة النوعية بعد القفزة:

$$E_{s2} = y_2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{g\,y_2^2} = 16\,\text{m}$$

بماأن الميل الاخير شديد فان النهاية أسفل التيار للعتبة ستعمل عمل مقطع تحكم، وتكون شروط الجريان عندها حرجة، إذن :

$$y_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 4.3\text{m}$$

بإهمال القدرة الضائعة فوق العتبة تكون القدرة النوعية قبل العتبة مساوية للقدرة النوعية لى العتبة مضافاً اليها (Z)، أي:

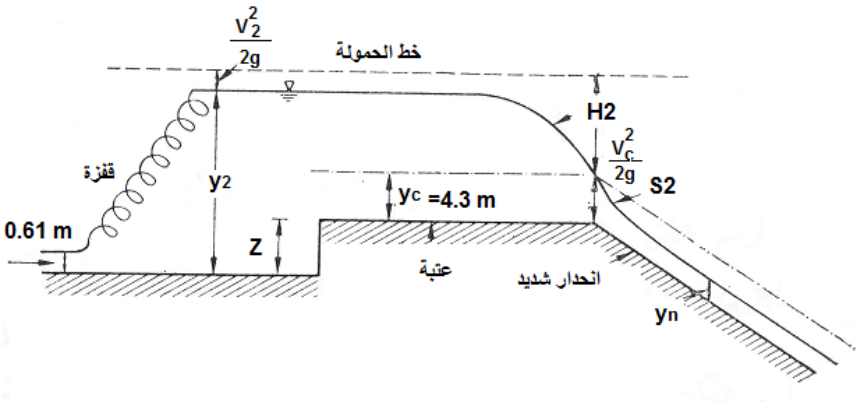
$$16 = \frac{3}{2}\,y_C + Z = 6.45 + Z$$

$$Z = 9.55\,\text{m}$$

2) من علاقة مانينغ

$$Q = \frac{1}{n}\,A\,R_h^{2/3} J^{1/2} \Rightarrow y_n = 1.14\,\text{m}$$

3) الرسم محقق على الشكل



4) الصعوبات العملية الممكنة:

a) يمكن ان تكون القفزة المائية مغمورة وخاصة في الجريانات البطيئة نسبياً مما ينتج عنه نقصان في تبدد القدرة خلالها. وفي مثل هذه الحالة يدخل الجريان القادم السريع ضمن الماء في حوض التهدئة قبل ان ينتشر ٠انتشار نافورة).

b) يمكن ان تتشكل حوادث تكهف (تخلخل) بسبب السرع العالية.

c) يمكن للقفزة المائية أن تبتعد أسفل التيار خارج حوض التهدئة إذا كانت التدفقات كبيرة إلا اذا كان طول الحوض كبيراً بشكل كاف.