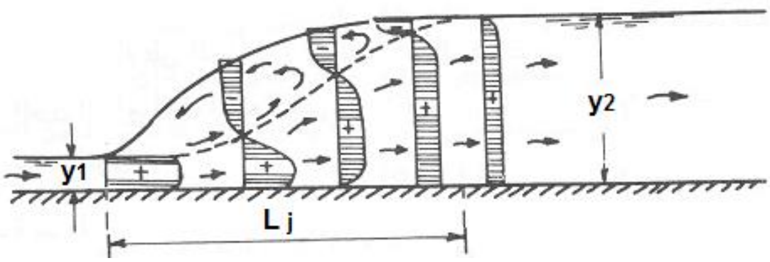
الفصل الخامس
الجريان سريع التغير (القفزة المائية)
Rapidly Varied Flow (Hydraulic Jump)

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).

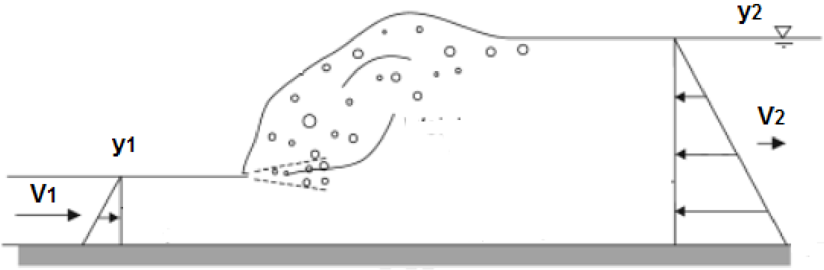
الجزء السفلي من القفزة تكون الحركة فيه إلى الأمام في اتجاه حركة الجريان وفي صورة جريان يتسع بالاتجاه الشاقولي، في هذا الجزء يكون انحناء خطوط التيار كبير ويكون الجريان سريع التغير ولا يمكن تطبيق قانون التوزيع الهيدروستاتيكي للضغوط في هذه الحالة.



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)

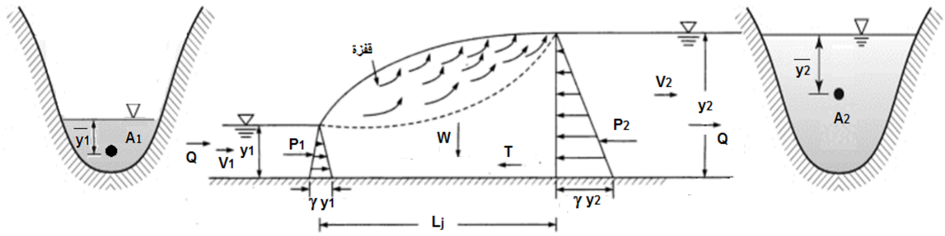
تستخدم القفزة المائية في أغراض شتى نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

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(3-5).



الشكل(3-5)

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:

$$\sum F = \rho Q (V_2 - V_1) \tag{1-5}$$

وهذه القوى هي:

- قوى الضغط الهيدروستاتيكي على المقطعين (1) و(2)

$$F_1 = \gamma\, A_1\, \bar{y}_1$$
$$F_2 = \gamma\, A_2\, \bar{y}_2 \tag{2-5}$$

$\bar{y}_1, \bar{y}_2$ 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:

$$\rho \beta_2\, Q\, V_2 - \rho \beta_1\, Q\, V_1 = F_1 - F_2 \tag{3-5}$$

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:

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

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:

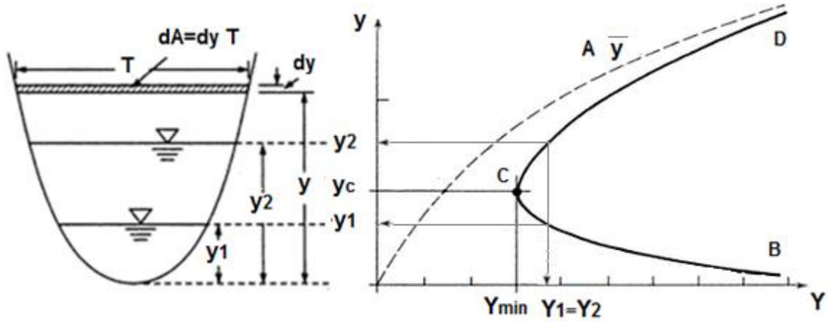
$$Y = \frac{Q^2}{g\,A} + A\,\bar{y} \qquad (5\text{-}5)$$

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.

$A\,\bar{y}$: 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 $\frac{dY}{dy} = 0$

$$\frac{dY}{dy} = -\frac{Q^2}{g\,A^2} + \frac{dA}{dy} + \frac{d(A\,\bar{y})}{dy} \tag{6-5}$$

في المعادلة(5-6) نجد أن: $\frac{dA}{dy} = T$ كما أن:

$$d(A\,\bar{y}) = [A\,(\bar{y} + dy) + T\,\frac{dy}{2}\,dy] - A\,\bar{y}$$
$$d(A\,\bar{y}) = [A\,\bar{y} + A\,dy) + T\,\frac{dy^2}{2}] - A\,\bar{y} \tag{7-5}$$

وبإهمال الكمية dy^2 لصغرها ينتج أن: $d(A\,\bar{y}) = A\,dy$ أي أن:

$$\frac{d(A\,\bar{y})}{dy} = A \tag{8-5}$$

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:

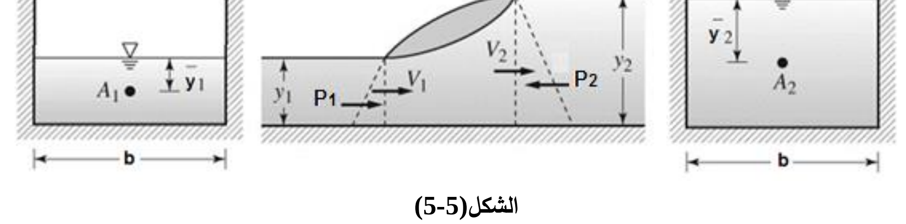
$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}} = 1 \qquad (13\text{-}5)$$

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.

5-3 القفزة المائية في قناة أفقية منتظمة ذات مقطع مستطيل:



الشكل(5-5)

1-3-5 العلاقة بين العمقين المترافقين: بالاعتماد على المعادلة العامة للقفزة

$$\frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \bar{y}_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \bar{y}_2 \tag{14-5}$$

يكون لدينا في هذه الحالة الخاصة لمقطع مستطيل عرض قاعدته b

$b = T$

$$A_1 = y_1 b \qquad \bar{y}_1 = \frac{y_1}{2} \tag{15-5}$$

$$A_2 = y_2 b \qquad \bar{y}_2 = \frac{y_2}{2}$$

بالتعويض في المعادلة (14-5) نحصل على:

$$\frac{Q^2}{g y_1 b} + b \frac{y_1^2}{2} = \frac{Q^2}{g y_2 b} + b \frac{y_2^2}{2} \tag{16-5}$$

$$y_2^2 - y_1^2 = \frac{2}{b} \frac{Q^2}{g b} \left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2} \right)$$

ويكون:

$$(y_2 - y_1)(y_2 + y_1) = \frac{2 Q^2}{g b^2} \left(\frac{y_2 - y_1}{y_1 y_2} \right) \tag{17-5}$$

وبما أن $y_2 \neq y_1$ نقسم طرفي المعادلة على $(y_2 - y_1) \neq 0$ فيصبح لدينا:

$$y_2 + y_1 = \frac{2 Q^2}{g b^2} \left(\frac{1}{y_1 y_2} \right) \tag{18-5}$$

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:

$$\frac{y_2^2}{y_1^2} + \frac{y_2}{y_1} - 2 F_{r1}^2 = 0 \tag{19-5}$$

بحل المعادلة من الدرجة الثانية ينتج لدينا:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 8 F_{r1}^2}}{2} \tag{20-5}$$

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 $F_{r2}^2 = \frac{V_2^2}{g\,y_2} = \frac{2\,Q^2}{g\,b^2\,y_2^3}$

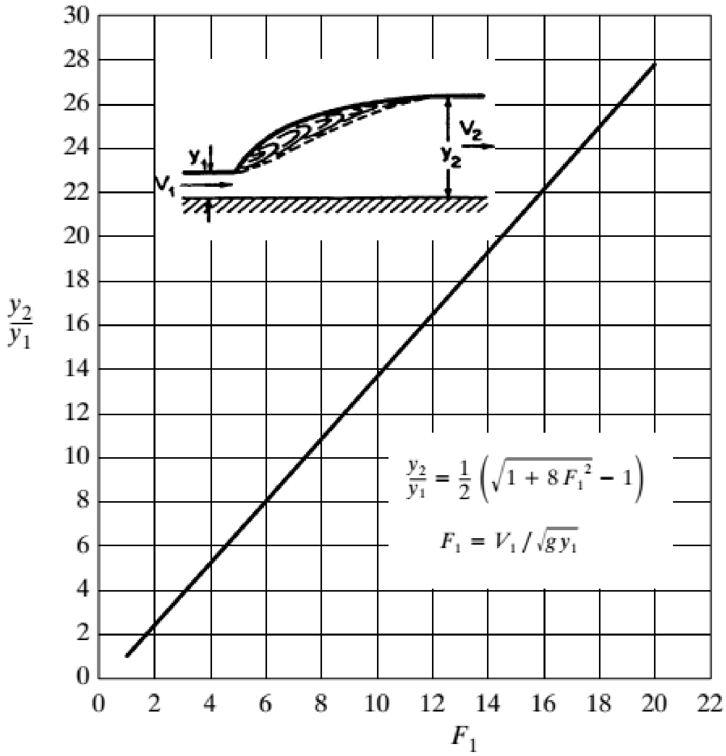
نجد أن:

$$\frac{y_1^2}{y_2^2} + \frac{y_1}{y_2} - 2\,F_{r2}^2 = 0 \qquad (22\text{-}5)$$

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(6-5)



الشكل(6-5)

2-3-5 السرعتان بجوار القفزة المائية والعلاقة بينـهما:

من العلاقة:

$$y_1 + y_2 = \frac{2Q^2}{g b^2\ y_1\ y_2} \tag{24-5}$$

نعوض بمعادلة الاستمرار:

$$Q = A_1\ V_1 \tag{25-5}$$

حيث:

$$A_1 = b\ y_1 \tag{26-5}$$

$$(y_2 + y_1) = \frac{2A_1^2\ V_1^2}{g\ b^2\ y_1\ y_2} = \frac{2y_1\ V_1^2}{g y_2}$$

(27-5)

$$V_1^2 = \frac{g y_2}{2y_1}(y_2 + y_1) \quad \Rightarrow \quad V_1 = \sqrt{g y_2}$$

3-3-5 العلاقة بين العمقين المترافقين ورقم فرود

لدينا:

$$F_{r_1}^2 = \frac{V_1^2}{g y_1} = \frac{g y_2}{2y_1}(y_2 + y_1)\frac{1}{g y_1}$$

$$F_{r_1}^2 = \frac{y_2}{2y_1}\frac{1}{y_1}(y_2 + y_1)$$

$$F_{r_1}^2 = \frac{y_2}{2y_1}\left(\frac{y_2}{y_1} + 1\right)$$

$$F_{r_1} = \sqrt{\frac{1}{2} \times \frac{y_2}{y_1} \times \left(1 + \frac{y_2}{y_1}\right)} \quad > 1$$

(28-5)

$$F_{r_2} = \frac{V_2}{\sqrt{g y_2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \times \frac{y_1}{y_2} \times \left(1 + \frac{y_1}{y_2}\right)} \quad < 1$$

ومنه نجد:

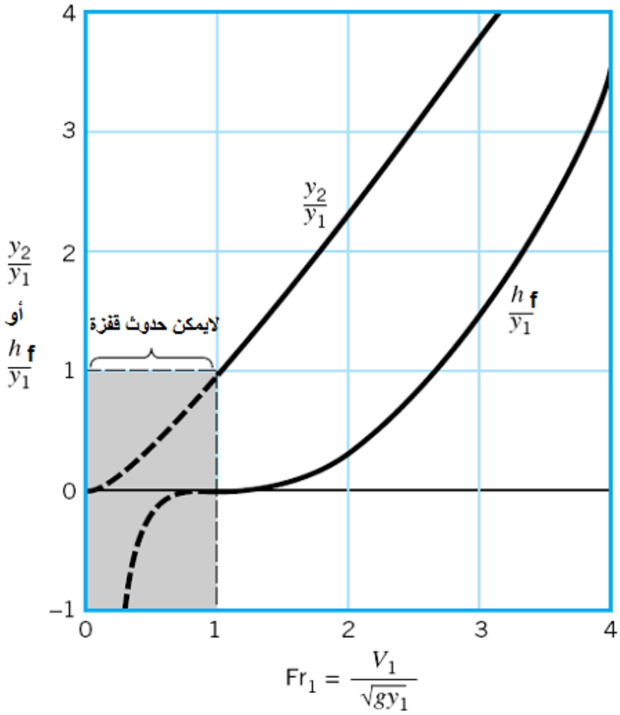
$$F_{r1} \times F_{r2} = \frac{y_1 + y_2}{2\sqrt{y_1 y_2}} \tag{29-5}$$

أو

$$\frac{F_{r1}}{F_{r2}} = (\frac{y_2}{y_1})^{3/2} \qquad (30\text{-}5)$$

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:

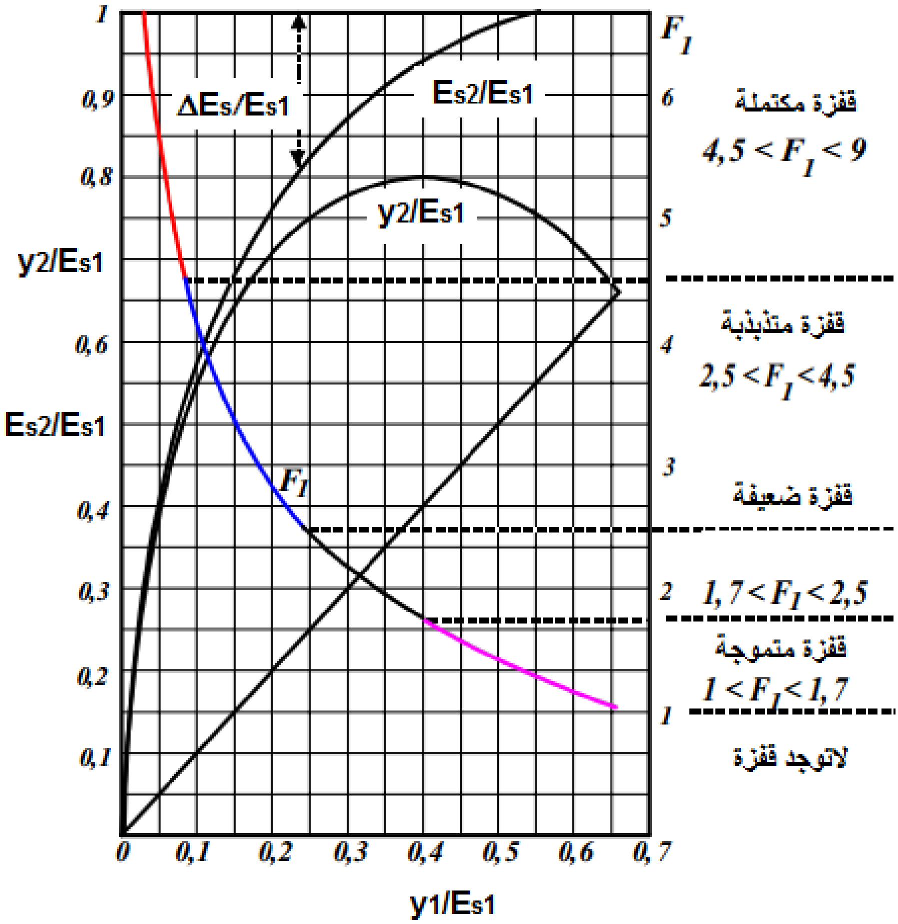
انطلاقاً من المعادلة العامة للقفزة بين المقطعين A_1 و A_2 بداية و نهاية القفزة من أجل تدفق معين:

$$\frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \overline{y_1} = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \overline{y_2} \qquad (31\text{-}5)$$

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)

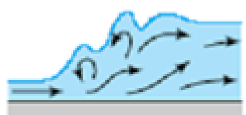


الشكل(5-8)

ومن الممكن التعبير عن تصنيف أنواع وخواص القفزة ضمن الجدول(5-2) التالي:

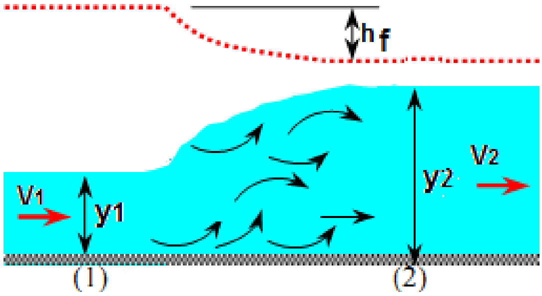
جدول (5-2)

النموذج	التصنيف	$\frac{y_2}{y_1}$	F_{r1}

 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:

$$\Delta E_S = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2} \qquad (32-5)$$

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:

$$\eta = \frac{y_2 - y_1}{\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}} \qquad (33-5)$$

ومن أجل قناة ذات مقطع مستطيل:

$$\eta = \frac{y_2 - y_1}{\frac{(y_2 + y_1)^2 \, (y_2 - y_1)}{4 y_2 y_1}}$$

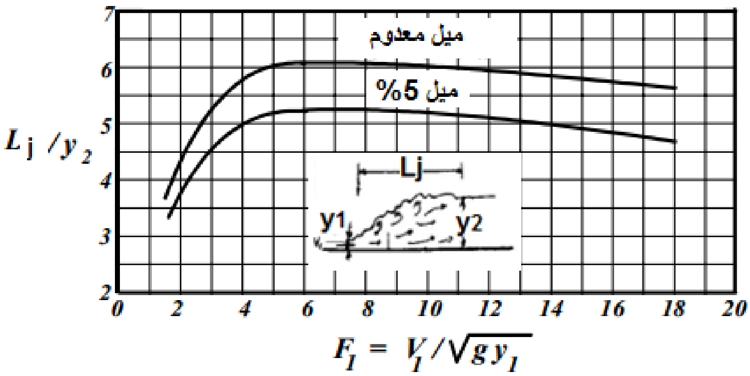
$$\eta = \frac{4 y_2 y_1}{(y_2 + y_1)^2} \qquad (34\text{-}5)$$

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:

$$L = 2.5(1.8\,y_2 - y_1) \tag{35-5}$$

- علاقة شيرتاووسف

$$L = 10.3\,y_1\,(F_{r_1} - 1)^{0.81} \tag{36-5}$$

a) من العلاقة العملية:

$$L = (4 \rightarrow 6)(y_2 - y_1) \tag{37-5}$$

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 $L_1 = (2.5 \rightarrow 3)L_j$

5-9 تعيين موضع القفزة

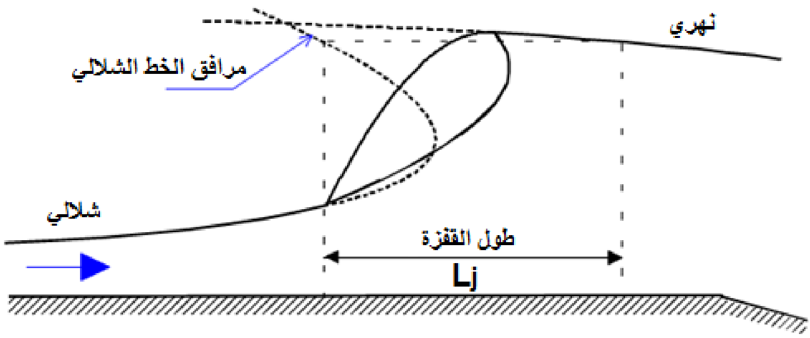
إن الشرط الأساسي عند حدوث القفزة هو أن يكون العمقان المترافقان السابق لها واللاحق بها مترافقين أي أنه في طرفي القفزة تتحقق المساواة $y_1=y_2$ لتابع القوى النوعية. إن السبب الأساسي لحدوث القفزة في مجرى ما هو عدم اتفاق شروط الجريان بين أسفل المجرى وأعلاه، حيث تتلخص مسألة إيجاد موقع القفزة فيما يلي:

- نرسم خطي رد الماء الشلالي قبلها والنهري بعدها المعلومين فرضاً معتمدين قاع القناة أفقياً مثلاً لسهولة الرسم والانشاء.
- نرسم تحولات تابع القوى النوعية الكلي Y بدلالة العمق معتبرين محور التراتيب Y 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 النوعية Y ثم نقل هذا العمق المرافق إلى شاقول العمق المختار ... و هكذا.

لتعيين موقع القفزة نميز حالتين:

5-9-1 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

2-9-5 ادخال طول القفزة المائية في الاعتبار:

ميل السطح الحر في منطقة القفزة يساوي $J=\dfrac{\Delta y}{L_j}$ حيث

$\Delta y=y_2-y_1$: ارتفاع القفزة.

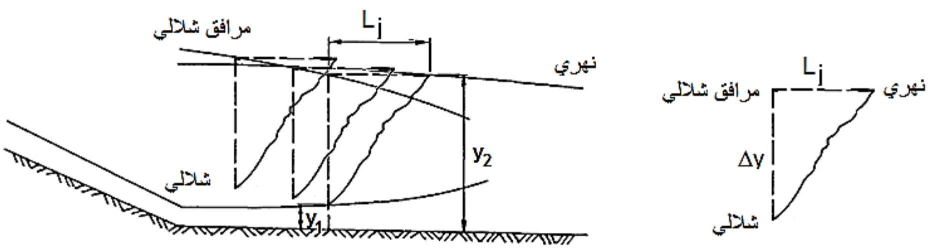
$L=a\left(y_2-y_1\right)$: طول القفزة و يساوي حيث $a=4\rightarrow 6$

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)

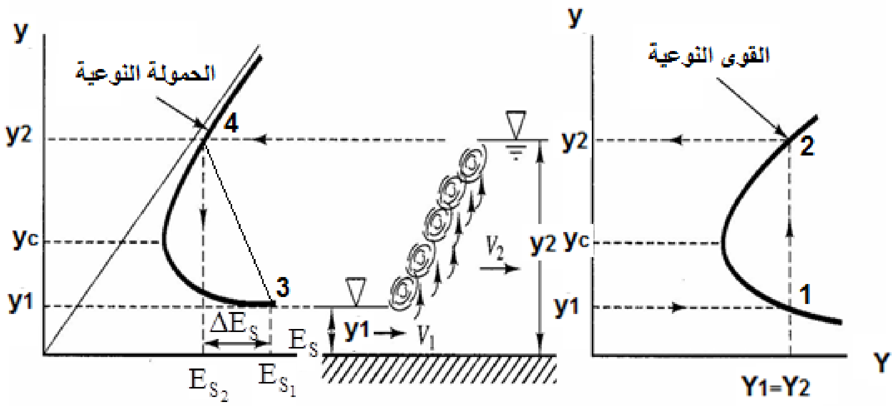
الخط الشاقولي المار في النقطة(3) يتقاطع مع محور E_S على مسافة قدرها E_{S_1} (الحمولة النوعية لمقطع الجريان(1)) وبمد هذا الخط المار في النقطة(2) أفقياً فإنه يتقاطع مع منحني الحمولة النوعية في النقطة(4)

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.

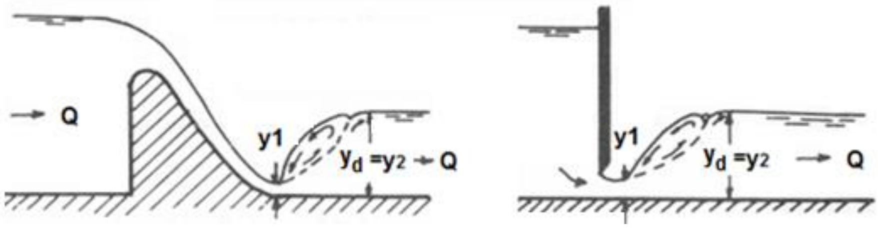
تبعاً للعلاقة بين العمق المرافق للقفزة المائية y_2 والعمق الحقيقي في الخلف y_d يتم الاتصال خلف المنشأة بتشكل قفزة مائية في ثلاث حالات مختلفة:

1) تشكل قفزة تامة:

إذا كان عمق الجريان خلف المنشأة مساوياً 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 (5-14)



الشكل(5-14) قفزة تامة

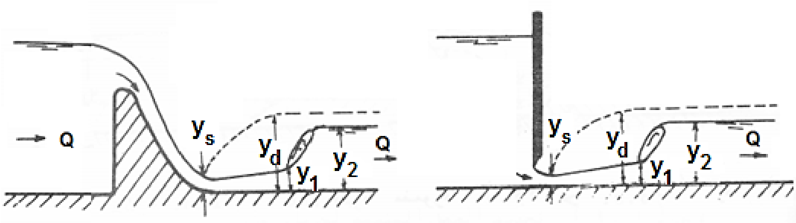
في هذه الحالة يمكن القول ان مقدار الطاقة لوحدة الوزن في المقطع المنضغط تكون أكبر من الطاقة لوحدة الوزن للجريان في الخلف بذلك المقدار الذي سيفقد خلال القفزة المائية.

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 (5-15)



الشكل(5-15) قفزة مبتعدة

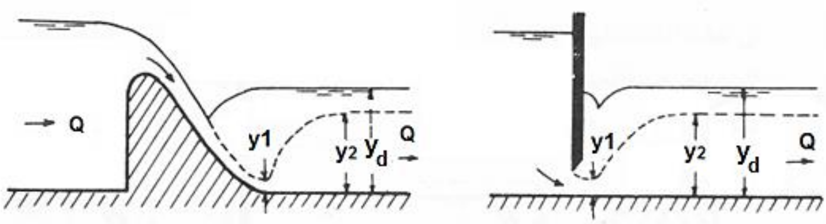
في هذه الحالة يمكن القول ان مقدار الطاقة لوحدة الوزن في المقطع المنضغط أكبر من الطاقة لوحدة الوزن في قناة الخلف بمقدار يزيد عن ذلك الذي سيفق خلال القفزة وعلى ذلك يتحرك الجريان كجريان فوق الحرج لمسافة الى أن يصبح عمقه y_1' وحتى يفقد جزء من طاقته ويتبقى جزء مساو لذلك الذي سيفقد خلال القفزة.

3) تشكل قفزة مغمورة:

اذا كان عمق الجريان جزء القناة الخلفي أكبر من العمق المرافق للقفزة أي ان:

$$y_d > y_2 \tag{5-41}$$

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 $\chi > 1$.

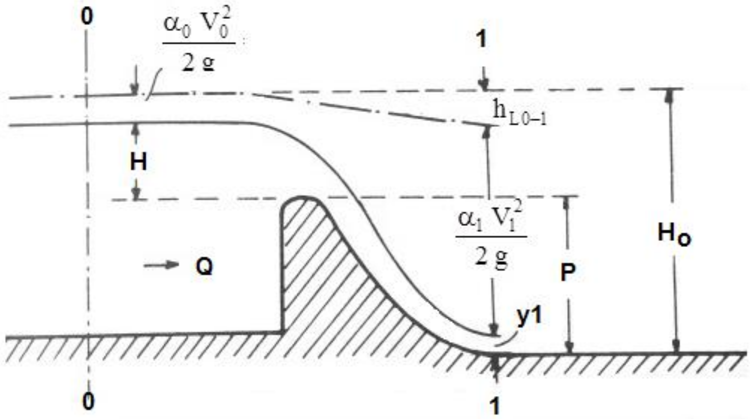
5-11-3 تحديد قيمة العمق المرافق الاول y_1

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:

$$P + H + \frac{\alpha_0\, V_0^2}{2\,g} = y_1 + \frac{\alpha_1\, V_1^2}{2\,g} + h_{L0-1} \tag{42-5}$$



الشكل(5-17) تحديد العمق المنضغط لجريان مار من على هدار

الفاقد في الطاقة h_{L0-1} يمكن التعبير عنه على الصورة:

$$h_{L0-1} = K\,\frac{V_1^2}{2\,g} \tag{43-5}$$

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:

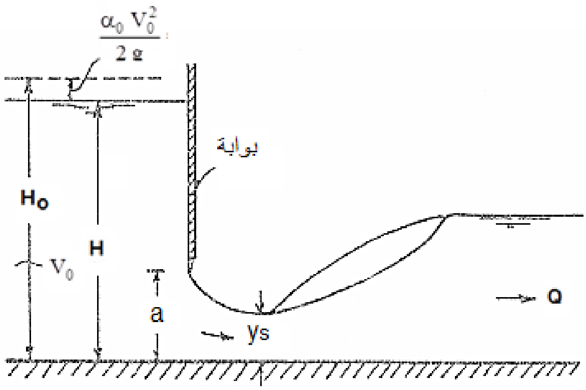
$$H_0 = P + H + \frac{\alpha_0\, V_0^2}{2\,g} \tag{44-5}$$

على ذلك فان المعادلة يمكن اعادة كتابتها على الصورة:

$$H_0 = y_1 + (\alpha_1 + K)\frac{V_1^2}{2\,g} \tag{45-5}$$

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-18) .5)



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:

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{(\alpha_0 - K_s)}} \quad (47\text{-}5)$$

كما أن:

$$H_0 + \alpha_0 \frac{V_0^2}{2g} \quad (48\text{-}5)$$

وعلى ذلك يكون التدفق المار من تحت البوابة في هذه الحالة مقداره:

$$Q = A_s\, V_s = C_d\, a\, b \sqrt{2g(H_0 - y_s)} \quad (49\text{-}5)$$

حيث:

b: عرض البوابة

C_d: معامل التدفق ومقداره: $C_d=C_cC_v$

بالنسبة للجريان الحر من تحت البوابات على قاع أفقي كما هو موضح بالشكل فان قيمة المعامل C_v تتراوح بين الحدود التالية:

$$C_v = 0.95 \rightarrow 0.97 \quad (50\text{-}5)$$

اذا كان الجريان مغموراً كما هو مبين بالشكل الشكل(5-19) فان التدفق المار من تحت البوابة يمكن حسابه من المعادلة:

$$Q = C_d\, a\, b \sqrt{2g(H_0 - y_z)} \quad (51\text{-}5)$$

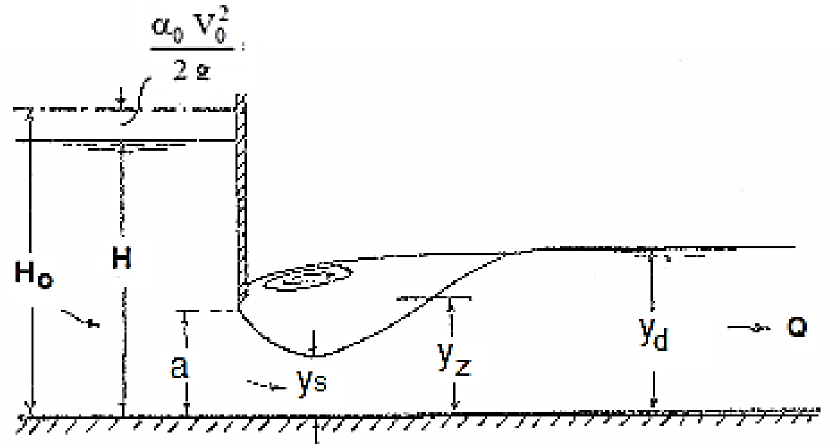
حيث:

$$y_z = \sqrt{y_d^{-2} - L\left(H_0 - \frac{L}{4}\right) + \frac{L}{2}} \quad (52\text{-}5)$$

و:

$$L = 4\, C_d^2\, a^2\, \frac{y_d - y_c}{y_d\, y_c} \quad (53\text{-}5)$$

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 ys.
- نتخيل وجود قفزة مائية وهمية في المقطع المنضغط عمقها المرافق الاول يساوي للعمق المضغوط ys
- 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 أسوأ وضع للقفزة المائية خلف المنشأ.

من الواضح أنه مع اختلاف قيمة التدفق المار ستختلف صورة الاتصال خلف المنشأ.

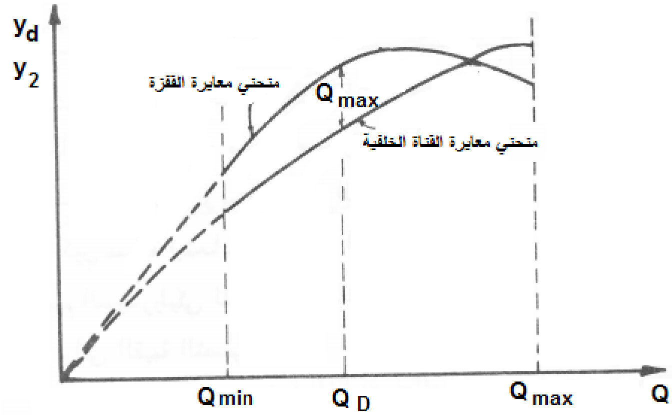
من ناحية التصميم الهيدروليكي تعتبر الحالة الثانية للاتصال (حالة القفزة المبتعدة) هي أسوأ الحالات التي يمكن حدوثها حيث أنه في هذه الحالة تحدث القفزة بعيداً عن المنشأ في المنطقة الغير محمية من القناة مما يسبب حدوث حت في القناة. يجب كذلك الاشارة الى أنه في الحالة الاولى (حالة قفزة تامة) والتي تعتبر حالة 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:

(54-5) $$a = y_2 - y_d$$

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).

4-11-5 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:

$$y_d \cong 1.05\, y_2$$

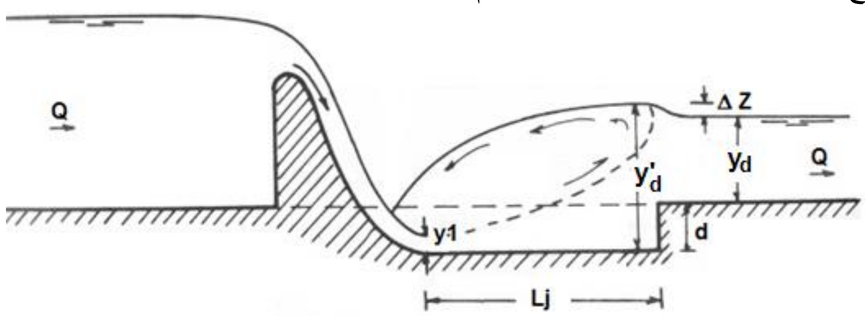
يتم تحقيق ذلك باستخدام المنشآت التالية.

a) حوض التهدئة

يتم ذلك بجعل منسوي 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').

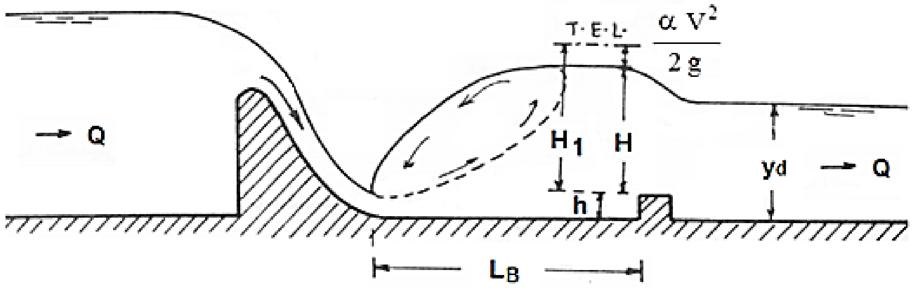
يؤخذ طول الحوض (L_B) مساوياً:

$$L_B \cong 3\, y_2 \qquad (59\text{-}5)$$

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:

$$h = y'_d - H \qquad (5\text{-}64)$$

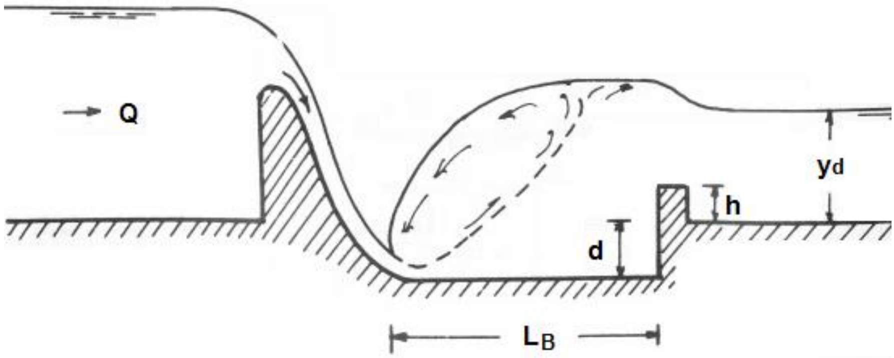
لحساب قيمة(V) باستخدام العلاقة (5-63) نفرض أولاً قيمة h=0 ثم نحسب قيم (h,H,H1,V) ثم يعاد الحساب مرة أخرى.

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) :

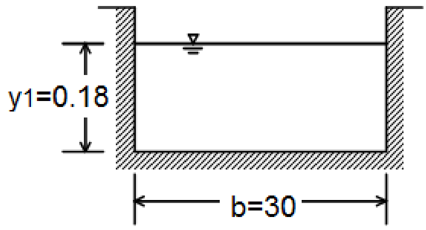
قناة ذات مقطع مستطيل عرضها b=30m وسرعة الجريان الموافق للعمق الشلالي في قفزة مائية V=5.5m/sec والمطلوب:

1) أوجد قيمة العمق المرافق النهري

2) أوجد رقم فرود عند بداية ونهاية القفزة.

3) ضياع الحمولة الناتج عن القفزة.

الحل



$$F_{r_1}=\frac{V_1}{\sqrt{g.y_1}}=\frac{5.5}{\sqrt{9.81\times0.18}}=4.14>1$$

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{1}{2}\left[\sqrt{1+8\,F_{r1}^2}-1\right]$$

$$y_2=\frac{0.18}{2}\left[\sqrt{1+8\times4.14^2}-1\right]=0.97\text{m}$$

$$q=V_1.y_1=V_2.y_2$$

$$5.5\times0.18=V_2\,(0.97)\Rightarrow V_2=1.02\text{m/sec}$$

$$F_{r_2}=\frac{v_2}{\sqrt{g\,y_2}}=\frac{1.02}{\sqrt{9.81\times0.97}}=0.33<1$$

لحساب ضياع الحمولة الناتج عن القفزة نكتب:

$$E_{s_1}=y_1+\frac{V_1^2}{2.g}=0.18+\frac{5.5^2}{2\times9.81}=1.72\text{ m}$$

$$E_{s_2}=y_2+\frac{V_2^2}{2.g}=0.97+\frac{1.02^2}{2\times9.81}=1.02\text{ m}$$

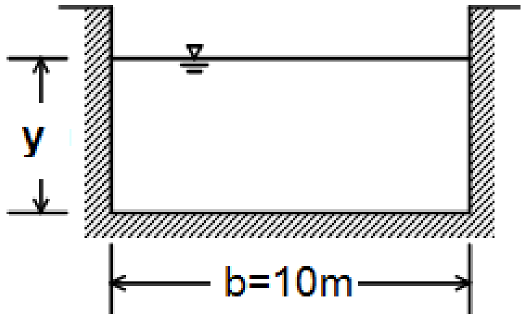
$$\Delta E_s=E_{s_1}-E_{s_2}=1.72-1.02=0.7\text{ m}$$

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:

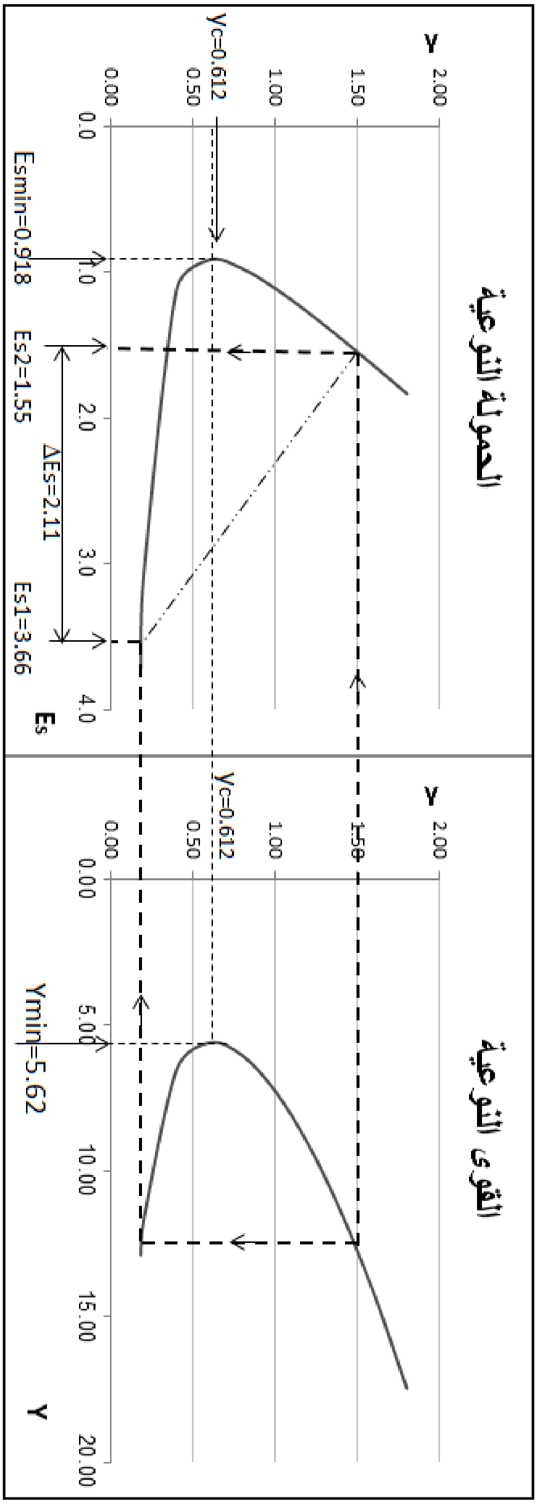
ومن أجل $y_1 = 0.18m$ نجد من المنحني $y_2 = 1.5m$

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
yc=0.612
Esmin=0.918
Es2=1.55
ΔEs=2.11
Es1=3.66
Es
القوى النوعية
y
yc=0.612
Ymin=5.62
Y

تطبيق(5-3) :

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:

$$\frac{Q^2}{g}=\frac{A^3}{T} \qquad A=(b+my)y \qquad T=b+2my$$

$$\frac{(16.4)^2}{9.81}=\frac{((3+1.5\,y)\,y)^3}{3+3\,y} \qquad \Rightarrow$$

بالتجريب نحصل على قيمة العمق الحرج $y_C = 1.18\,m$

2) حساب المنحني المرافق للمنحني الشلالي:

نعود للمعادلة العامة للقفزة ونكتب:

$$Y=\frac{Q^2}{gA_1}+A_1\,\bar{y}_1=\frac{Q^2}{gA_2}+A_2\,\bar{y}_2$$

$$Y=\frac{q^2}{g\,y_1}+\frac{y_1^2}{2}=\frac{q^2}{g\,y_2}+\frac{y_2^2}{2}$$

نرسم خط رد الماء النهري والشلالي ثم نعطي لـy 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.

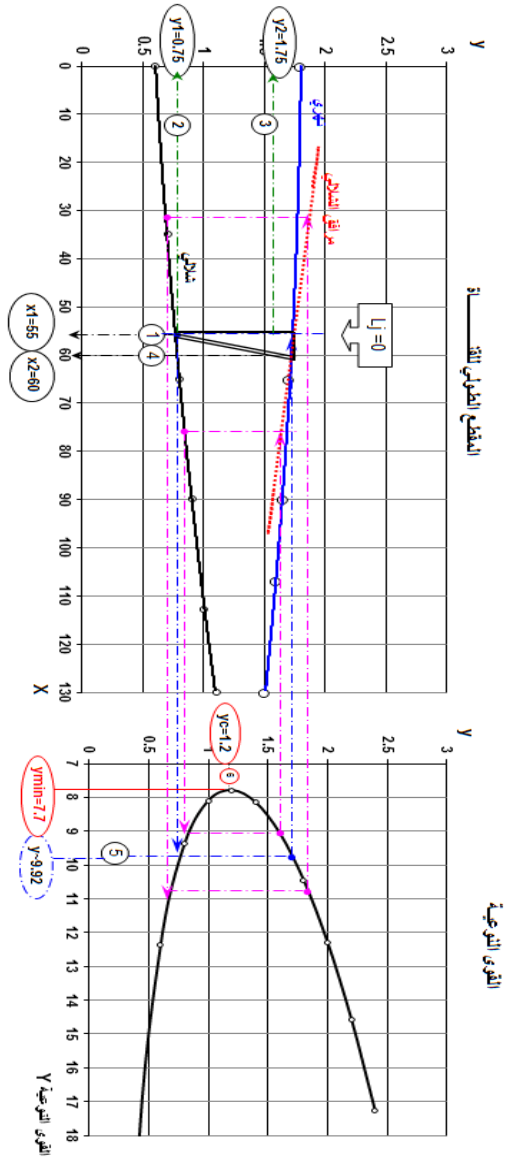
طول القفزة معدوم:

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 $L_j = 10.3 y_1 (F_1 - 1)^{0.81}$

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:

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

$$5.787 = \frac{1}{0.014} \times (1.732\, y^2)(0.5\, y)^{2/3} \sqrt{10^{-4}} \quad \Rightarrow \quad y^{8/3} = 7.425$$

$$y = 2.12\ m \quad \Rightarrow \quad b = (\lambda - m)\, y = (1.732 - 0.577) \times 2.12 = 2.45\ m$$

وبذلك تصبح مساحة المقطع الكلية A_T:

$$A_T = (2.45 + \frac{2.62}{\sqrt{3}}) \times 2.62 = 10.382\ m^2$$

وبالتالي تكون كلفة الحفر لكل كيلومتر طولي C_E :

$$C_E = 10.382 \times 1000 \times 20 = 207643\ \text{ل.س} / Km'$$

كما أن طول المحيط المبلول سيكون مقداره F_T:

$$F_T = 2.45 + 2 \times 2.62 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 8.5\ m$$

وتكون تكاليف التبطين لكل كيلومتر طولي C_L :

$$C_L = 8.5 \times 1000 \times 100 = 850000\ \text{ل.س} / Km'$$

وبالتالي تصبح التكاليف الإجمالية لإنشاء القناة:لكل متر طولي C_T:

$$C_T = C_E + C_L = 1057643\ \text{ل.س} / Km'$$

ثانياً:

نفرض أقل عمق لازم للمياه في المقطع المنضغط والذي تجعل القفزة المتكونة تامة مقداره y_1 والذي يمكن تحديده كما يلي:

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{5.787}{2.45 \times 2.12} = 1.114\ m/sec$$

$$F_{r_2} = \frac{V_2}{\sqrt{g\, y_2}} = \frac{1.114}{\sqrt{9.81 \times 2.12}} = 0.244$$

$$y_1 = 0.5\, y_2 (\sqrt{1 + 8 F_{r_2}^2} - 1)$$

$$y_1 = 0.5 \times 2.12 (\sqrt{1 + 8 \times (0.244)^2} - 1) = 0.228 m$$

حساب أقل طول ممكن للفرش سيكون مساوي لطول القفزة L_j ومقداره يمكن تحديده كالتالي:

$$V_1 = \frac{Q}{b_1\, y_1} = \frac{5.787}{2.45 \times 0.228} = 10.36\ \mathrm{m/sec}$$

$$F_{r_1} = \frac{V_1}{\sqrt{g\, y_1}} = \frac{10.36}{\sqrt{9.81 \times 0.228}} = 6.927$$

$$L_j = 10.3\, y_1\, (F_1 - 1)^{0.81}$$

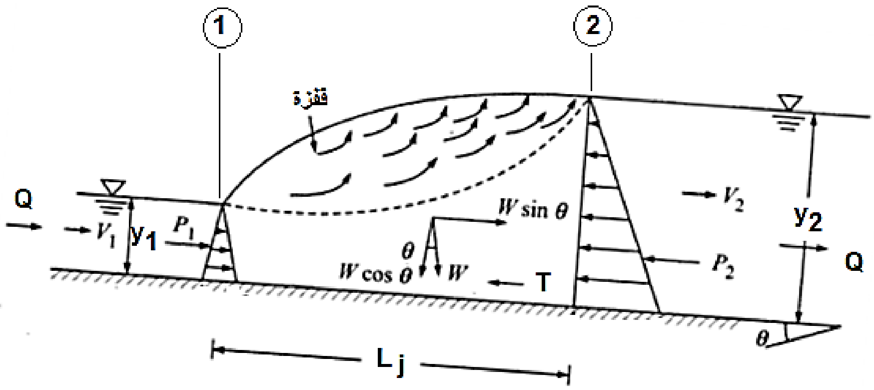
$$L_j = 10.3 \times 0.228 \times (5.927)^{0.81} = 9.93\ \mathrm{m} \approx 10\ \mathrm{m}$$

والطول الذي يجب حمايته خلف الفرش بعمل تكسية له يمكن حسابه من العلاقة:

$$L_j = (2.5 \rightarrow 3)\, L_j = 25 \rightarrow 30\ \mathrm{m}$$

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:

$$\frac{2 y_1 V_1^2}{g}\left(\frac{y_1 - y_2}{y_2}\right) = (y_1^2 - y_2^2)\ \cos\theta + (y_1 + y_2)\ L\ K\ \sin\theta$$

وبما أن $F_{r1}^2 = \frac{V_1^2}{g y_1}$ وبالتعويض نجد:

$$2F_{r1}^2\ y_1^2\left(\frac{y_1 - y_2}{y_2}\right) = (y_1 + y_2)\left[(y_1 - y_2)\cos\theta + L K\sin\theta\right]$$

بقسمة الطرفين على $y_2\,(y_1 - y_2)$ينتج:

$$2\ F_{r1}^2\ \frac{y_1^2}{y_2^2} = \left(\frac{y_1}{y_2} + 1\right)\left[\cos\theta + \frac{L K\sin\theta}{(y_1 - y_2)}\right]$$

بالتبسيط نجد:

$$\frac{y_2^2}{y_1^2}+\frac{y_2}{y_1}-\frac{2F_{r1}^2}{\cos\theta+\dfrac{LK\sin\theta}{(y_1-y_2)}}=0$$

$$\frac{y_2^2}{y_1^2}+\frac{y_2}{y_1}-2G^2=0$$

ومنه ينتج أن

$$y_2=0.5\,y_1\,(\sqrt{1+8\,G^2}-1)$$

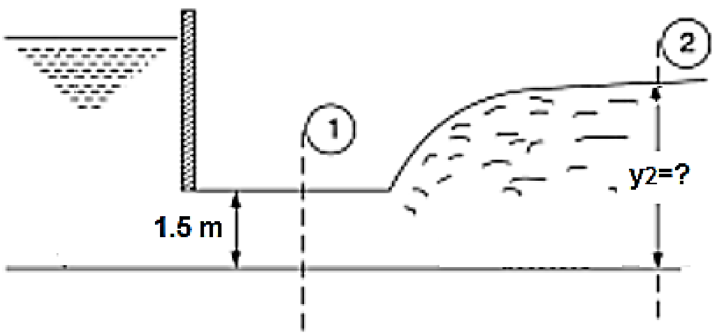
حيث:

$$G=\frac{F_{r1}}{\sqrt{\cos\theta-\dfrac{L\ K\ \sin\theta}{y_2-y_1}}}$$

تطبيق(7-5) :

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

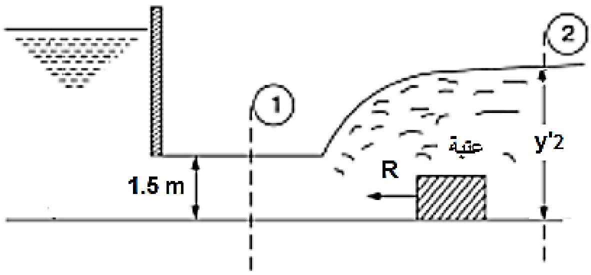
$$V=\frac{q}{y_1}$$

$$F_{r1}=\frac{V_1}{\sqrt{g\,y_1}}=\frac{q}{\sqrt{g\,y_1^3}}=\frac{12}{\sqrt{9.81\times(1.5)^3}}=2.085$$

$$y_2=0.5\,y_1\,(\sqrt{1+8F_{r1}^2}-1)=0.5\times1.5\,(\sqrt{1+8\times(2.085)}-1)=3.736\ \text{m}$$

$$\Delta E_s=\frac{(y_2-y_1)^3}{4\,y_1\,y_2}=\frac{(3.736-1.5)^3}{4\times1.5\times3.736}=0.5\ \text{m}$$

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):

$$\frac{\gamma\,q}{g}(V_2'-V_1)=P_1-P_2'-R$$

$$R=P_1-P_2'-\frac{\gamma\,q}{g}(V_2'-V_1)$$

$$P_1=\frac{1}{2}\gamma\,y_1^2=1.125\ \text{t/m}'$$

$$P_2'=\frac{1}{2}\gamma\,y_2'^2=3.92\ \text{t/m}'$$

$$R=1.125-3.92-\frac{1\times12}{9.81}\times(4.2857-8)=1.748\ \text{t/m}'$$

أما الفاقد في الضاغط خلال القفزة في هذه الحالة فيحسب من العلاقة:

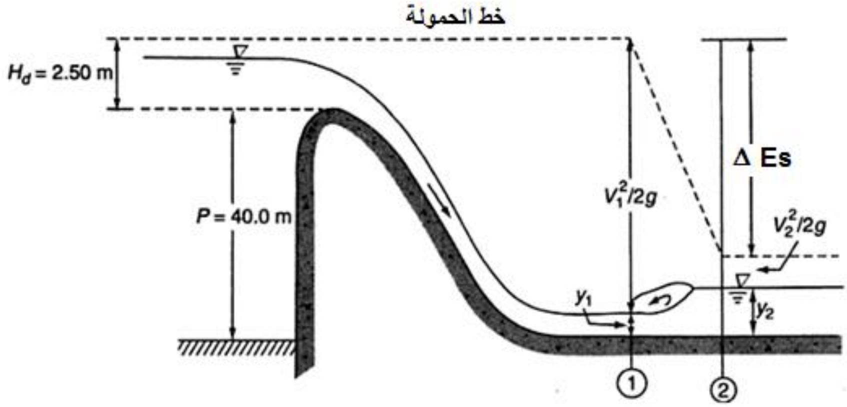
$$\Delta E_s = (y_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (y_2' + \frac{V_2^2}{2g})$$

$$\Delta E_s = (1.5 + \frac{(8)^2}{2\times 9.81}) - (2.8 + \frac{(4.2857)^2}{2\times 9.81}) = 1.0258\ \mathrm{m}$$

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 :

$$q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2\,g}\, H_d^{3/2} = \frac{2}{3} \times 0.738 \times \sqrt{2\times 9.81} \times (2.5)^{3/2}$$

$$q = 8.614\ \mathrm{m^3/s/m}$$

الحمولة النوعية بين المقطعين (1) و (2):

$$P + H_d = y_1 + \frac{V_1^2}{2\,g}$$

$$y_1 + \frac{(8.614)^2}{2\,g\,y_1^2} = 42.5$$

بالحل نجد:

$$y_1 = 0.3\,\mathrm{m}$$

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(9-5) :

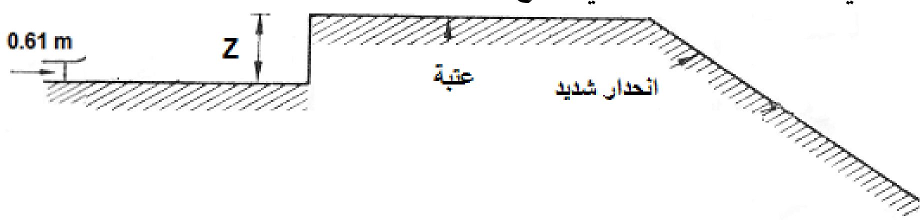
هدار على سد يصرف المياه بمعدل $Q=16.4m^3/sec$ إلى حوض تهدئة أفقي. يبلغ عمق الماء للجريان السريع عند مدخل حوض التهدئة 0.61m ، وكلا حوض التهدئة والعتبة طويلان بشكل كاف لتحقيق شروط نظامية، تلي العتبة قناة عريضة مستطيلة الشكل ميلها 0.1 والمطلوب:

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:

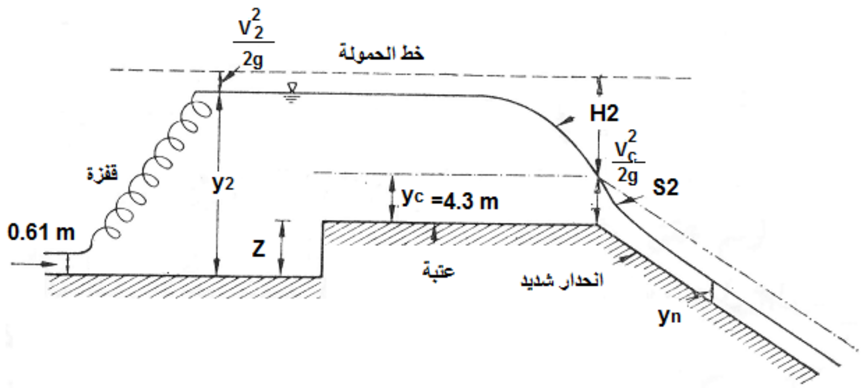
$$16 = \frac{3}{2}\,y_C + Z = 6.45 + Z$$

$$Z = 9.55\,\text{m}$$

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.