قياس التصريف في القنوات المستطيلة باستخدام موشور منقول

أ.د. عبد الستار يونس الدباغ* إنعام علي قاسم جمعة*

تاريخ التسلم: ٢٠٠٥/٧/١٢
تاريخ القبول: ٢٠٠٥/١٢/٢٨

الخلاصة

إن لقياس التصاريف في القنوات المفتوحة أهمية قصوى في إدارة الموارد المائية .فقد ظهرت العديد من طرق وأجهزة قياس التصاريف تباينت فيما بينها من حيث الكفاءة التقنية للتشغيل ودقة قياسها، ومن بين أهم أجهزة القياس المستخدمة حاليا هي قنوات العمق الحرج.

تم في هذا البحث دراسة إمكانية قياس التصاريف في القنوات المفتوحة المستطيلة الشكل بواسطة موشور منقول يوضع وسط القناة يسمح بتكون جريان حرج ، استخدم لهذا الغرض خمسة نماذج حيث اختبر كل نموذج لحالتي الجريان الحر والمغمور.

أظهرت الدراسة لحالة الجريان الحر الدقة العالية لهذه القنوات في قياس التصاريف وكان هناك توافقا جيدا بين التصاريف المحسوبة والمقاسة.أما بالنسبة إلى الجريان المغمور فكانت النتائج مقبولة.

الكلمات الدالة: قياس التصريف ، موشور منقول ، القنوات المستطيلة ، جريان حرج .

Discharge Measurement in Rectangular Channels Using Portable Prisms

Abstract

Discharge measurement in open channels has a great importance in water resources management. Many types of discharge measurement devices appeared, with differences in view of their technical performance and precision. From these devices there are the critical depth flumes.

In the present research, a portable prism was tested for measuring discharges in rectangular channels. The prism is positioned in the middle of the channels so that a critical flow is created. Five models of prisms were used, each of which has been examined for both free flow and submerged flow conditions.

Under free flow conditions, the prism showed a high accuracy in measuring discharges and there is a good agreement between calculated and measured discharges. Under submerged flow conditions, the prism showed a good performance and acceptable accuracy.

<u>قائمة الرموز المستعملة</u>

B= عرض القناة
b= عرض الموشور
b′=نسبة التصحيح
cd= معامل التصريف
Fr= رقم فرود
Fr' = رقم فرود الحقيقي
hu = عمق الجريان مقدم الموشور
hd = عمق الجريان أسفل الموشور

* كلية الهندسة / جامعة الموصل

https://doi.org/10.30684/etj.25.3.11
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

hv = العمق اللابعدي اسفل الجريان
hm = محدد الشكل اللابعدي
Kr = معامل تصحيح
L = طول عنق مقطع قناة القياس
Q = التصريف الحقيقي
$Qcal$ = التصريف المحسوب

المقدمة

نظرا للأهمية الكبيرة في قياس التصاريف في القنوات المفتوحة، فقد استولى هذا الحقل على مجال واسع من البحوث في القرنين التاسع عشر والعشرين. وعادة نحصل على قنوات العمق الحرج بتضييق جوانب القناة بصورة متناظرة تسمح بتكوين جريان حرج يمكن من خلاله إيجاد علاقة مباشرة بين العمق والتصريف. وفي هذه الطريقة تكون قناة القياس جزءا من القناة الرئيسية والتي غالبا ما تنشأ مع القناة نفسها، وإذا كان من الضروري بنائها أو إزالتها فيتطلب ذلك عملا هندسيا على القناة.

اهتم عدد من الباحثين بقنوات العمق الحرج كأدوات فعالة لقياس التصاريف في القنوات المفتوحة. ولكن رغم إنها كانت قد أعطت دفعا كبيرا وتطورا ملحوظا في مجال قياس التصاريف إلا أنها لا تخلو من بعض العيوب أهمها: كلفة الإنشاء وتعرضها للتخريب وحاجتها إلى صيانة مستمرة نظرا لثباتها في القناة، هذا بالإضافة إلى كونها غير منقولة مما يحدد عدد مقاطع القياس وكونها غير مناسبة للقنوات الدائرية. كل هذا جعل من الضروري إيجاد جهاز بسيط منقول يعطي نتائج جيدة ويمكن تجاوز السلبيات المذكورة أعلاه.

اقترح [1] استعمال اسطوانة توضع وسط قناة مستطيلة أو على شكل شبه منحرف أوعلى شكل U (في القنوات الدائرية) وذلك لتكوين جريان حرج.وفي الواقع إن التقدير الدقيق للعمق الحرج يكون صعب للغاية، لذلك تم استبدال العمق الحرج بحد ثاني قابل للقياس وهو طاقة الجريان التي تعد ثابتة. وقد اعتبر [2] الطاقة المقاسة على الخط العمودي مقدم الاسطوانة طاقة ممثلة للجريان. ثم قارن[3] بين كفاءة المقاطع الحرجة المستطيلة والمثلثة، حيث أن المقاطع المثلثة مفضلة للتصاريف القليلة أما المقاطع المستطيلة فهي بشكل عام مفضلة للمقاطع الكبيرة.أجرى [4] دراسة لتطوير جهاز منقول بسيط ودقيق لقياس التصاريف في قنوات ذات مقاطع شبه منحرفة، حيث استعملا اسطوانة قياس منقولة توضع في مركز القناة تسمح بتكوين جريان حرج على جانبيها. وقد قام الباحث [5] بقياس التصاريف في قناة مستطيلة الشكل بواسطة اسطوانة منقولة توضع في وسط القناة، حيث تم تطوير معادلات معيارية لمعامل تصحيح التصريف. كما قام [6] بدراسة شروط الجريان المغمور لاسطوانات قياس منقولة تحليليا ومختبريا، ووجدا علاقة مبسطة لمعامل تصحيح التصريف بدلالة معدل الغمر ومستقلة تماما عن أبعاد القناة والاسطوانة. وفي السنوات الأخيرة ظهر جهاز قياس مشابه للاسطوانة وهو الموشور المنقول لقياس التصاريف، حيث ابتكره [7] .

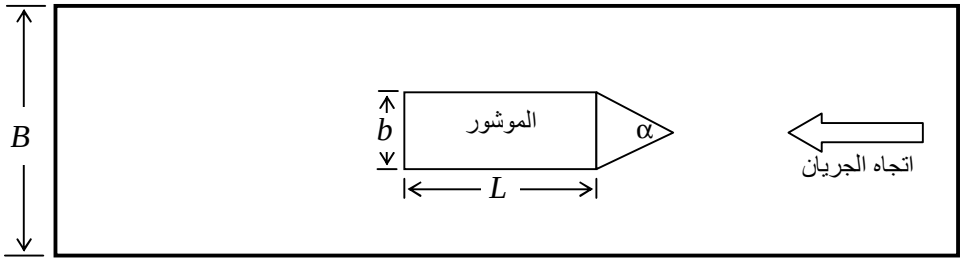
الهدف من هذا البحث قياس التصريف في القنوات المفتوحة المستطيلة الشكل باستعمال موشور منقول يوضع في وسط القناة بشكل يسمح بتكوين الجريان الحر والجريان المغمور.

الأجهزة والتجارب المختبرية

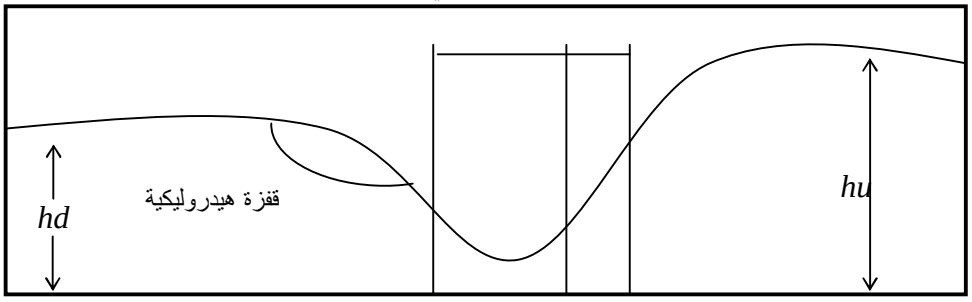
تم إجراء العمل المختبري باستعمال قناة مفتوحة طولها (10m) وعرضها (30cm) وارتفاعها (45cm). تتكون القناة من جدران زجاجية وقاعدة حديدية ملساء، يتدفق الماء داخل القناة عن طريق مضخة هيدروليكية وفق نظام جريان دوري مغلق بتصريف أقصى

قدرة (17 l/s)، ويتم تغيير التصريف من خلال لوحة السيطرة.

صممت بوابة تحكم في نهاية القناة للسيطرة على عمق الجريان في حالة شروط الجريان المغمور.تم صنع خمسة مواشير من صفائح الحديد (Iron plate) وكانت بعرض مختلف وبطول(cm 25) وزاوية 60º وكما موضح في الجدول (1) .وضع الموشور المنقول في وسط القناة الشكل (1) . كما أستعمل في التجارب المختبرية سد غاطس ذي قمة حادة أنجز حسب المواصفات البريطانية [8] وثبت في القناة لقياس التصريف المار، وباستعمال مفهوم المعايرة الحجمية تم وضع معادلة للسد الغاطس .



(a) المسقط الأفقي



(b) المسقط الشاقولي تحت ظروف الجريان الحر

الشكل (1) المسقط الافقي والشاقولي لقناة القياس

الجدول (1) المواصفات الهندسية لقناة التجارب والمواشير

الأبعاد (1)	الموشور (Prism)				
	1 (2)	2 (3)	3 (4)	4 (5)	5 (6)
B (**cm**)	30	30	30	30	30
b (cm)	12	14	16	18	20
L (cm)	25	25	25	25	25
Angle α	60°	60°	60°	60°	60°
B-b (cm)	18	16	14	12	10
(B-b)/b	1.5	1.143	0.875	0.667	0.500

أجريت التجارب لحالتي الجريان الحر والجريان المغمور، إذ اجريت التجارب الخاصة بحالة الجريان الحر بفتح بوابة التحكم والسماح بتصريف معين (Q) للجريان على طول القناة حيث تم قياس التصريف بدقة 1% ± وتم قياس عمق الماء مقدم الجريان hu بدقة 0.1% ± وهكذا لبقية التصاريف .وجدت معادلة الجريان الحر Q = f(hu) باستخدام مبدا تحليل الانحدار لكل النماذج كما موضحة في الشكل(2) .

أما في حالة الجريان المغمور فقد أجريت التجارب بفتح بوابة التحكم والسماح بتصريف معين Q للجريان على طول القناة ثم يحسب التصريف باستخدام معادلة الجريان الحر ويثبت، تقفل بوابة التحكم بالتدريج حيث يتحول الجريان الحر إلى مغمور تدريجيا.يتم بعد ذلك إيجاد قيمة الغمر $S = \frac{hd}{hu}$ و ΔQ = النسبة المئوية للفرق بين التصريف الحقيقي و التصريف المقاس بواسطة السد الغاطس والتصريف المار حسب جهاز القياس باستعمال مستوى الماء الحالي (والذي يكون اكبر من الذي قبله بسبب الجريان المغمور). يغير الغمر تدريجيا بفتح أو غلق بوابة التحكم بين أوطأ حد عندما ΔQ=0.5 % وأعلى حد عندما S=0.92 بالاستناد إلى الدراسات السابقة [9]. بعد ذلك يتم إيجاد معادلة الجريان المغمور $Q= f(hu,hd)$ لجهاز القياس.

التحليل والمناقشة

1- الجريان الحر

لدراسة حالة الجريان الحر، اعتمدت المقادير اللابعدية التي اخذت في الدراسات السابقة والتي تتعلق بالجريان في القنوات المفتوحة وهي [9]:

$$Fr = \frac{Q}{hu\,(B-b)\sqrt{ghu}} \quad (1a)$$

حيث أن :

Fr= رقم فرود

Q = التصريف الحقيقي

hu = عمق الجريان مقدم الموشور

b = عرض الموشور

B = عرض القناة

$$hm = \frac{hu}{(B-b)} \quad (1b)$$

حيث أن :

hm = محدد الشكل اللابعدي

ويتضح أن هناك علاقة بين رقم فرود Fr ومحدد الشكل اللابعدي hm كالآتي:

$$Fr = f(hm) \quad (2)$$

وباتباع هذه الطريقة في التحليل، فمن المنطقي أن نفترض أن العرض المؤثر للمقطع في عنق أداة القياس لا يساوي العرض الهندسي (B-b). ان التقليل في العرض نتيجة لانحناء خطوط الجريان يختلف من موشور تجريبي لاخرلأنه يعتمد على كثافة الانحراف لخطوط الجريان. ولذلك يجب وضع معامل تصحيح Kr في صيغة رقم فرود، ويصبح رقم فرود الذي يفسر الظاهرة كالآتي:

$$Fr' = \frac{Q}{hu * Kr(B-b)\sqrt{ghu}} = \frac{Fr}{Kr} \quad (3)$$

حيث إن :

Fr'= رقم فرود الحقيقي

وفي هذه الصيغة فان $[Kr(B-b)]$ تمثل عرض الجريان الفعال في مقطع التضيق.

وبوضع Kr في رقم فرود نحصل على

$$Fr' = f(hm) \quad (4)$$

المعادلة (4) تنطبق على النماذج الخمسة المختبرة.

ولهذا فان المشكلة هي إيجاد قيمة *Kr*. وقد لاحظ الباحثون بعد التجارب على نماذج مختلفة ان قيمة *Kr* تتغير من موشور إلى آخر ولكن لنفس الموشور لا تتغير قيمة *Kr* مع التصريف. ويعتمد المعامل *Kr* على الصفات الهندسية للقناة حيث اقترح [٩] انه يمكن التعبير عن *Kr* كدالة لنسبة التخصر $[b'=(B-b)/b]$ وكالآتي:

$$Kr = 0.832\ b'^{0.13} \qquad (5)$$

اعتمدت المعادلة (5) لحساب قيمة *Kr* لنماذج البحث الحالي وكانت كالآتي: 0.877، 0.8793، 0.8177، 0.848، 0.7603للنماذج الخمسة على التوالي.

وبأخذ قيمة *Kr* بنظر الاعتبار في رقم فرود الحقيقي ولجميع النماذج فانه بالإمكان الحصول على علاقة بين رقم فرود الحقيقي *Fr'* و *hm* والتي تمثل حالة الجريان لكل المواشير المستخدمة في التجارب كما في الشكل (3) وهذه العلاقة هي:

$$Fr' = 0.1722\ ln(hm) + 0.6523 \qquad (6)$$

بمعامل تحديد(coefficient of determination) (R^2=0.7433).

فإذا علم عمق الماء في مقدم القناة (*hu*) وبمعرفة *b* و *B* لهذه القناة، فمن الممكن استخدام المعادلة (5) لإيجاد قيمة *Kr*. وباستخدام المعادلة (6) فمن الممكن حساب رقم فرود الحقيقي ويمكن حل المعادلة (3) لإيجاد قيمة التصريف المحسوب Q_{cal} :

$$Q_{cal} = Fr'*hu*Kr(B-b)\sqrt{ghu} \qquad (7)$$

وبالتعويض عن القيم السابقة نحصل على التصريف المحسوب

رسمت العلاقة بين التصريف الحقيقي (المقاس) والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (7) والعلاقة (6) لحساب رقم فرود الحقيقي كما في الشكل(4) وبمعامل تحديد (R^2 = 0.964). نلاحظ من الشكل (4) أن البيانات تتوزع حول خط التوافق التام بتباين قليل جدا. من هذا نستنتج انه بالإمكان اعتماد العلاقة (6) لحساب رقم فرود الحقيقي .

قام الباحث [10] بوضع المعادلة (7) للجريان الحر بصيغة تحوي جميع الخصائص الفيزيائية وكالآتي:

$$Q_{cal} = \frac{2}{3}Cd(B-b+0.132hu)hu\sqrt{2ghu} \qquad (8)$$

حيث Cd = معامل التصريف والذي عبر عنه بالصيغة المبسطة التالية:

$$Cd = 0.5\left(\frac{B-b}{b}\right)^{0.13} \qquad (9)$$

رسمت العلاقة بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (8) كما في الشكل (5) وبمعامل تحديد (R^2 = 0.9486). يلاحظ إن الارتباط بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (7) والعلاقة (6) تعطي فرقا بنسبة 1.4%عنها باستخدام المعادلة (8)، وهذا يدل على أن العلاقتين متقاربتين من الناحية التطبيقية.

2- الجريان المغمور

باعتماد نفس طريقة التحليل اللابعدي المستخدمة في حالة الجريان الحر، فانه من الممكن ايجاد المقدارين اللابعديين (*hm* و *Fr'*) والمقدار اللابعدي في مؤخر الجريان *hv* حيث:

$$hv = \frac{hd}{(B-b)} \qquad (10)$$

ومن الضروري في هذه الحالة أيضا أخذ عرض الجريان الحقيقي لمقطع التضيق في رقم فرود. ولهذا أخذ معامل التصحيح *Kr* ولنفس الغرض.

ومن البحوث السابقة [9] وجد من التجارب والتحليل للبيانات إن قيمة *Kr* لحالة الجريان المغمور هي نفسها كما في حالة الجريان الحر.
إن العلاقة التي تربط المقادير اللابعدية التي تفسر حالة الجريان المغمور هي:

$$Fr' = f(hm, hv) \qquad (11)$$

عند معرفة *hm* و *hv* لحالة معينة وباستخدام شكل (6) نحصل على قيمة 'Fr. وباستخدام العلاقة (7) يحسب التصريف. رسمت العلاقة بين التصريف المحسوب والتصريف الحقيقي وبمعامل تحديد (R^2 = 0.9114) كما في الشكل (7)، حيث يلاحظ التوافق الجيد في النتائج.
ويمكن حساب التصريف للجريان المغمور باستخدام العلاقة (8) للجريان الحر ولكن باستخدام الصيغة التالية لحساب قيمة معامل التصريف[10] :

$$Cd = 0.5\left(\frac{B-b}{b}\right)^{0.13}\left\{0.022\left[\frac{1.85\,hd^{1.2}-(B-b)^{0.2}hu}{(B-b)^{0.2}(hu-hd)}\right]^{1.2}+1\right\}^{-1} \qquad (12)$$

والتي تنطبق لحالة الجريان المغمور عندما تكون $hu < 1.85\ hd^{1.2}\ (B-b)^{-0.2}$

أعيد حساب التصريف باستخدام المعادلة (8) والعلاقة (12) كما في الشكل (8) وبمعامل تحديد (R^2 = 0.64)، ورسمت العلاقة بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب حيث يلاحظ التبعثر حول خط التوافق التام. ومن خلال مقارنة الشكل(7) والشكل (8) اتضح أن هناك تحسنا بنسبة 12.3% عند استخدام منحنيات الشكل (6) والمعادلة (7). من هذا يتضح أفضلية استخدام المعادلة (7) ومنحنيات الشكل (6) لحساب التصريف للجريان المغمور.

الاستنتاجات

تتعامل هذه الدراسة مع نوع خاص من أجهزة قياس التصاريف في القنوات المفتوحة، وهو الموشور المنقول، حيث يجمع هذا الجهاز كل الخصائص الجيدة لقنوات قياس التصريف المعتادة إضافة إلى خاصية معينة وهي قابلية نقله من مكان الى اخر أو تحريكها، حيث يمكن استخدامه كجهاز بسيط وسريع في قنوات الري المستطيلة المقطع وشبكات القنوات والمجاري. ويمتلك الموشور المنقول دقة في قياس التصاريف مقارنة بقنوات قياس التصريف المعمول بها في حالتي الجريان الحر والمغمور.
و يمكن الاستنتاج بانه في حالة الجريان الحر، فان العلاقة بين رقم فرود الحقيقي ومعامل الشكل اللابعدي هي علاقة لوغاريتمية وبالصيغة التالية *Fr′=0.1722ln(hm)+0.6523*، وان هناك توافقا جيدا بين التصاريف الحقيقية والمحسوبة من المعادلة (7) .اما في حالة الجريان المغمور، فقد أوضحت الدراسة إن استخدام منحنيات الشكل (6) لحساب التصريف قد أعطى توافقا جيدا مع التصريف الحقيقي، وهذه المنحنيات تسمح باستخدام سريع وبسيط وكفوء لهذه القنوات المنقولة.

المصادر

1. Hager, W. "Modified Venturi Channel." Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 111, No.1, PP. 19-35, 1985, b.
2. Hager, W. "Critical Flow Conditions in Open Channel Hydraulics." Acta Mechanica, No. 54, 157-179, 1985, a.
3. Hager,W. "Modified Trapizoidal Venturi Channel." Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 112, No.3, PP. 225-241, 1986.
4. Samani, Z. and H. Magallanez "Measuring Water in Trapezoidal Canals." Journal of Irrigation and

Drainage Engineering, ASCE, Vol.119, No.1, PP.181-186, 1993.

5. Ammari, A.H. "Discharge Measurement in Rectangular Channels Using a Portable Cylinder." M.Sc. Thesis, University of Mosul, Iraq, 2002.

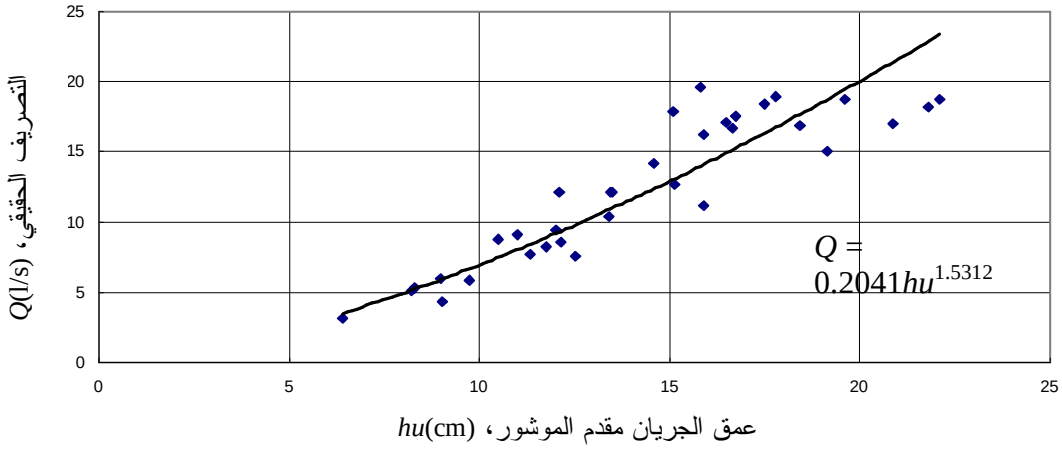
6. عماري، عبد الهادي والدباغ، عبد الستار يونس" شروط الجريان المغمور لاسطوانة قياس منقولة". مجلة هندسة الرافدين،المجلد(12) العدد(1)، كلية الهندسة، جامعة الموصل، 2004.

7. Peruginelli,A. and Bonacci F. "Ricerca Sperimentale Sumisturatori di Portata arisalto Idraulico." Irrigation E Drenaggio, Anno, XLII, No.2, (1995), PP. 27-33.

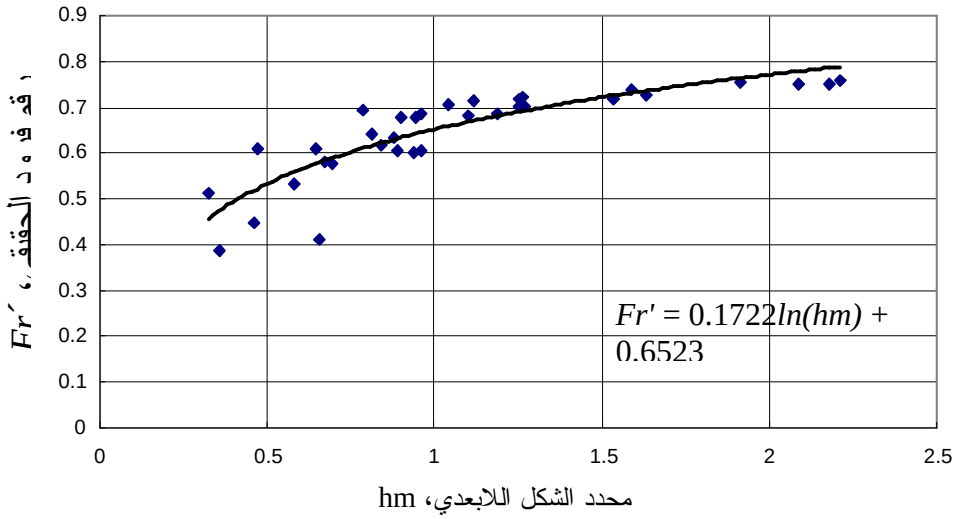
8. Ackers, P., and W.R. White, "Weirs and Flumes for Flow Measurements." John Wily and Sons, Chichester, UK, 1978. Wiley.

9. Peruginelli,A. and Bonacci F. "Mobile Prisms for Flow Measurement in Rectangular Channels." Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 123, No.3, PP. 170-174, 1997.

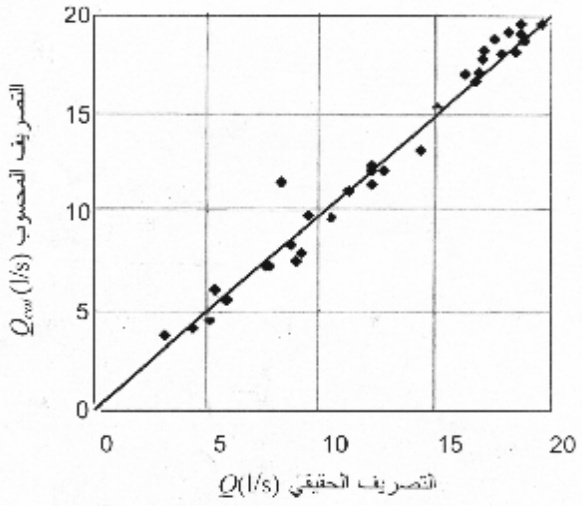
10. Swamee, P.K. "Discussion of Mobile Prisms for Flow Measurement in Rectangular Channels." Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol.124, No.5, PP. 279-280, 1998.



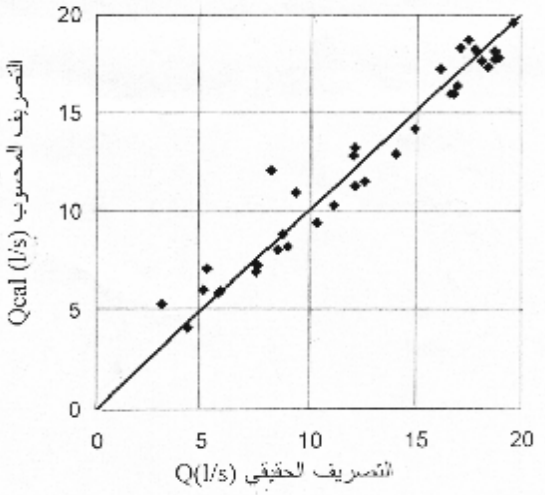
الشكل (2) العلاقة بين عمق الجريان مقدم الموشور والتصريف الحقيقي



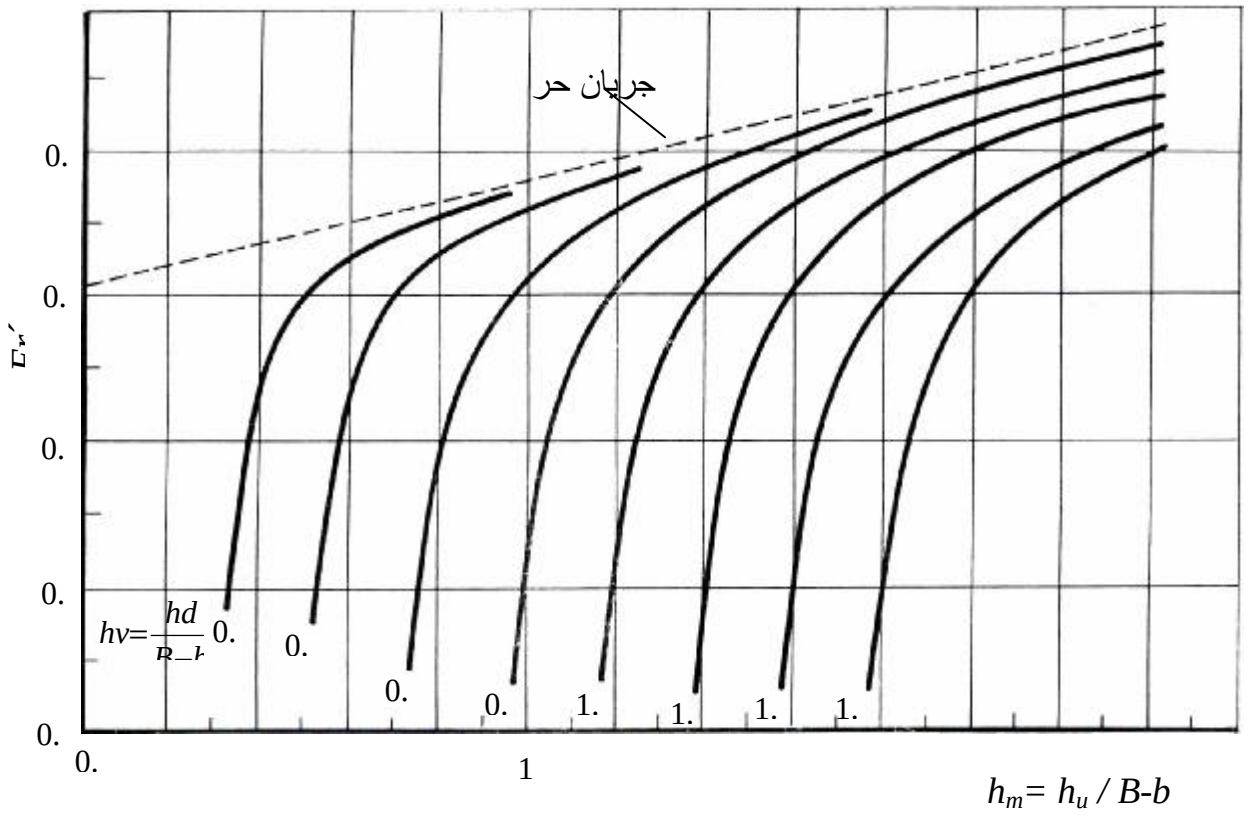
الشكل (3) العلاقة بين محدد الشكل اللابعدي ورقم فرود الحقيقي



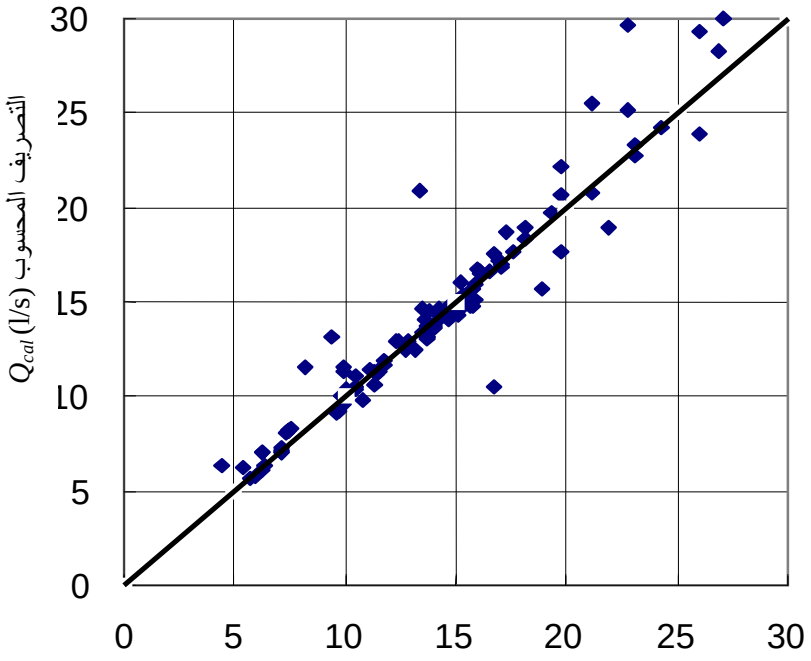
الشكل (4) العلاقة بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (7) والعلاقة (6) للجريان الحر



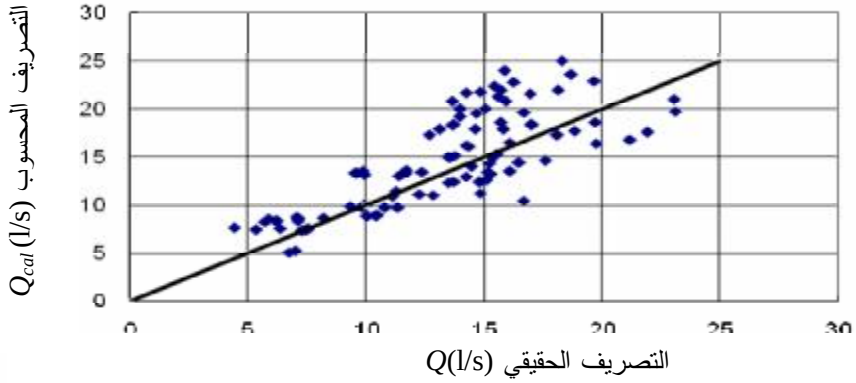
الشكل (5) العلاقة بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (8) للجريان الحر



الشكل (6) منحنيات الجريان الحر والجريان المغمور [9]



الشكل (7) العلاقة بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (7) ومنحنيات الشكل (6) للجريان المغمور



الشكل (8) العلاقة بين التصريف الحقيقي والتصريف المحسوب باستخدام المعادلة (8) والعلاقة (12) للجريان المغمور