

## دراسة مختبرية لتأثير زاوية التفرع وانحدار القناة الفرعية على الجريان

ا. م. د. مؤيد سعد الله خليل  
هندسة الموارد المائية  
كلية الهندسة / جامعة الموصل

م. م. نشوان كمال الدين العمري  
هندسة الموارد المائية  
كلية الهندسة / جامعة الموصل

### المخلص

تم دراسة هيدروليكية الجريان المتفرع في القنوات المفتوحة، إذ استخدمت قناة رئيسية تتفرع منها قناة فرعية وبثلاث زوايا ( $30^\circ$  و  $60^\circ$  و  $90^\circ$ ) باتجاه جريان القناة الرئيسية، في كل زاوية للقناة الفرعية تم أخذ أربعة انحدارات للقعر وهي ( 0.001 ، 0.0015 ، 0.002 ، 0.0025 )، ولكل انحدار تم إمرار خمسة تصاريح في القناة الرئيسية (13 و 14 و 15 و 16 و 17.25) لتر/ثا، في كل تصريف تم أخذ خمسة ارتفاعات للماء في القناة الفرعية. أشارت نتائج التجارب إلى أنّ نسبة التصريف تزداد بزيادة انحدار قعر القناة الفرعية. ولوحظ أيضاً إن أكبر نسبة تصريف تم الحصول عليها عند الزاوية  $60^\circ$  ومن ثم الزاوية  $90^\circ$  وبعد ذلك الزاوية  $30^\circ$ . أوضحت النتائج أيضاً إن العلاقة بين نسبة التصريف ورقم فرود علاقة خطية تتناسب طردياً مع رقم فرود في مقدم القناة الرئيسية وفي القناة الفرعية، وعكسياً مع رقم فرود في مؤخر القناة الرئيسية. كما إن العلاقة بين نسبة التصريف ونسبة عمق الماء في القناة الفرعية إلى عمقه في مؤخر القناة الرئيسية علاقة خطية عكسية. استنتجت معادلة لحساب نسبة التصريف اعتماداً على زاوية التفرع وانحدار القعر ونسبة عمق الماء في القناة الفرعية إلى عمقه في القناة الرئيسية ورقم فرود في مؤخر القناة الرئيسية، وبلغ معامل التحديد ( $R^2$ ) للمعادلة (0.953).

## Laboratory Study of the Effect of the Branching Angle and the Branching Channel Slope on Flow

Nashwan K. Al Omari

Dr. Moayed S. Khaleel

Water Resources Engineering  
College of Engineer / Mosul University

### Abstract

In this paper the hydraulic characteristics of branching flow in open channel has been studied, a main channel was used with a branching channel connected with three angles ( $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ) with four bed slopes (0.001,0.0015,0.002,0.0025) and at each slope five values of discharge were pass in the main channel (13, 14, 15, 16 and 17.25) l/s. For each discharge five depths of water were allowed in the branching channel in each experiment. The results of the experiments indicated that the discharge ratio increases with increases bed slope of the branching channel. It was also found that the highest discharge ratio is obtained in the angle  $60^\circ$  then the angle  $90^\circ$  and then angle  $30^\circ$ . The results also showed that the relationship between the discharge ratio and Froude number is linear and direct proportional to the Froude number in the upstream main channel and in the branching channel, and inversely with the Froude number in the downstream main channel. The relationship between discharge ratio and the ratio of water depth in the branching channel to water depth in the downstream main channel is linear and inverse. An empirical equation to calculate the discharge ratio was observed, with a coefficient of determination ( $R^2$ ) equal (0.953).

**Key Word:** Branching channel, Branching channel slope, open channel, Branching flow and Branching angle.

## المقدمة

تعتبر القنوات المفتوحة إحدى الوسائل المهمة لنقل المياه وجزء أساسي في معظم المنشآت الهيدروليكية والمشاريع الإروائية ومشاريع الموارد المائية. وغالبا ما يتطلب الأمر في مشاريع الري وتوزيع المياه إنشاء قنوات فرعية لنقل وتوزيع جزء من التصريف إلى مناطق لا تصلها القنوات الرئيسية. كما قد يحدث ذلك أيضا في القنوات الطبيعية والأنهار حيث تصب فيها روافد أو تؤخذ منها جداول لتغذية مناطق على ضفتي النهر. إن عملية سحب أو إضافة تصريف من وإلى القناة الرئيسية يسبب تغييراً في هيدروليكية الجريان ومورفولوجية القعر والضفاف، إضافة إلى أن زاوية تفرع القناة الفرعية مع القناة الرئيسية وانحدارها يؤثران على ذلك أيضا. كما إن دراسة الجريان الجانبي مهمة أيضا في تصميم محطات الإزالة التي يمكن اعتبارها مأخذ للمياه، ومحطات معالجة المياه. حيث تؤثر هذه المأخذ أو المصببات على ميكانيكية الجريان وكذلك على شكل القعر عند الالتقاء. كما يحدث هذا الجريان مشاكل في المشاريع الإروائية التي تغذى من الأنهار أو القنوات ويؤدي إلى حدوث ترسبات ونحر في القنوات الفرعية مما يغير ميل الجريان المتفرع وانعكاسات ذلك على الجريان الرئيس، لذلك يجب دراسة تأثير القنوات المتفرعة من القناة الرئيسية لمعرفة امتداد هذا التأثير وإمكانية سحب فروع أخرى من القناة الرئيسية.

## الدراسات السابقة

في عام 1990 قام الباحث رامامورثي وآخرون (Ramamurthy, et. al.) بدراسة نظرية و مختبرية على الجريان المتفرع في القنوات المفتوحة، وذلك باستخدام قناة فرعية بشكل قائم على قناة رئيسية مستطيلة المقطع وبنفس العرض للقناتين. كما قاموا بتطوير نموذج نظري لربط العلاقة بين نسبة تصريف القناة الرئيسية في نهايتها إلى التصريف ورقم فرود في بدايتها وكذلك نسبة عمق الماء في نهاية القناة الرئيسية إلى عمق الماء في بدايتها، وتمت مطابقة هذا النموذج مع النتائج المستحصلة مخبرياً. ولقد توصلوا إلى العديد من الاستنتاجات منها أن نقطة سكون الجريان تقع في بداية القناة الفرعية عند الزاوية البعيدة، وأن عمق الجريان يزداد في مؤخر جريان القناة الرئيسية بالجهة المقابلة للقناة الفرعية. كما قدم الباحث نيري وآخرون (Neary, et. al., 1999) دراسة نظرية حول الجريان في المأخذ الجانبية للقنوات المفتوحة، إذ قاموا بتطوير نموذج عددي ثلاثي الأبعاد لمحاكاة الجريان المضطرب في المأخذ الجانبية لقيم مختلفة من نسب التصريف وخشونة القعر ونسبة عمق الجريان إلى عرض القناة. واستخدم النموذج لفحص النتائج المرصودة وتصنيفها من دراسات حقلية و مختبرية سابقة لهذه الظاهرة من الجريان من حيث عمليات انتقال الرسوبيات والعمليات الهيدروليكية المعقدة، مثل الدوامات ومناطق الانفصال ومناطق انعكاس الجريان وغيرها التي يصعب الحصول عليها من خلال الدراسات المختبرية. وجد الباحثون من نموذجهم العددي حدوث منطقة دوامات وانفصال للجريان في القناة الفرعية في الجهة القريبة من بداية الجريان للقناة الرئيسية، وتكون منطقة الانفصال عند سطح الماء أكبر مما هي عليه عند القعر وبالتالي يحدث ترسيب وجزر رملية في هذه المنطقة. كما وجدوا أن الضغط والمنسوب عند زاوية اتصال القناة الفرعية مع الرئيسية منخفضان. أما الجهة البعيدة من القناة الفرعية فتكون منطقة سكون للجريان ذات ضغط ومنسوب عالٍ في زاوية تلك الجهة. ويحدث نحر في المنطقة التي تلي ذلك من القناة الفرعية نتيجة زيادة السرعة في تلك المنطقة، كما وتحدث منطقة دوامات في القناة الرئيسية بالجهة المقابلة للقناة الفرعية في منطقة ما بعد الاتصال مع القناة الفرعية، وتكون هذه الدوامات غاطسة وأكبر عند قعر القناة.

قام كل من الباحث هسو وآخرون (Hsu, et. al., 2002) بدراسة مختبرية لإيجاد علاقة بين العمق والتصريف، وإيجاد معامل خسارة الطاقة للجريان تحت الحرج (Subcritical) والمنقسم بسبب وجود قناة فرعية عمودية على قناة رئيسية وبالعرض والانحدار الأفقي للقناتين نفسهما. حاول الباحثون بهذا البحث تخمين أعظم تصريف للقناة الفرعية إذا علم التصريف في بداية القناة الرئيسية ورقم فرود في نهاية القناة الرئيسية، إذ قاموا برسم علاقة تربط بين رقم فرود وبين نسبة تصريف القناة الرئيسية في نهايتها إلى التصريف الكلي، وكذلك برسم العلاقة التي تربط بين نسبة التصريف الفرعي إلى التصريف الكلي وبين رقم فرود في مؤخر جريان القناة الرئيسية. وقاموا بإيجاد معادلة نظرية تربط ما بين رقم فرود بمؤخر جريان القناة الرئيسية ونسبة التصريف المتفرع ونسبة عمق الماء في مقدم جريان القناة الرئيسية إلى عمقه في المؤخر. ومن الاستنتاجات التي توصل إليها الباحثون إن معامل التخصر في بداية القناة الفرعية التي يحصل فيها أعظم تدوير، يتناسب عكسياً مع رقم فرود في بداية القناة الرئيسية، ومع نسبة التصريف في نهاية القناة الرئيسية إلى التصريف في بدايتها. كما وجدوا أن نسبة عمق الماء في بداية القناة الرئيسية إلى عمق الماء في نهايتها يتناسب طردياً مع نسبة التصريف وعكسياً مع رقم فرود في نهاية القناة الرئيسية، كما لاحظوا أن معامل خسارة الطاقة يتناسب طردياً مع رقم فرود في بداية القناة الرئيسية ومع نسبة التصريف.

قام كل من الباحثين هاديان وزاراتي (Hadian and Zarrati, 2008) بدراسة نظرية متمثلة بطريقة عددية وهي طريقة القوالب المتعددة ((Multi - Block (MB)) لمحاكاة الجريان المفتوح ذي الأشكال المعقدة هندسياً. وتم عمل نموذج عددي لقناة رئيسية متفرعة منها عمودياً قناة ثانية. وجد الباحثان من خلال هذا النموذج شكل سطح الماء وتوزيع السرعة، إذ قاما برسم عمق الماء على جانبي الجدران على طول القناة الرئيسية والقناة الفرعية، وتمت مقارنة هذه النتائج مع نتائج الباحثين شيتير وورثي (Shetter and Murthy, 1996)، وأظهرت هذه المقارنة تقارباً كبيراً جداً

## خليل: دراسة مختبرية لتأثير زاوية التفرع وانحدار القناة الفرعية على الجريان

مما أثبتت مدى صلاحية هذا النموذج لإيجاد شكل سطح الماء في القنوات المفتوحة المعقدة هندسياً مثل القنوات الفرعية وتفرعات الأنهار وغيرها. يظهر من البحوث السابقة أنّ حالة القناة الفرعية وتأثيرها في القناة الرئيسية قد تمت دراستها نظرياً ومختبرياً وبشكل مفصل عندما تكون زاوية الاتصال بينهما عمودية، وأن دراسة تأثير زوايا أخرى مختلفة كانت قليلة نسبياً، كما إن تأثير انحدار القناة الفرعية لم يبحث بتفصيل كافٍ وذلك حسب ما تم الحصول عليه من المصادر العلمية المتاحة. وعليه تم في هذا البحث دراسة تأثير زاوية تفرع القناة الفرعية وانحدارها في القناة الرئيسية.

### التجارب المختبرية

تم إجراء التجارب في قسم هندسة الموارد المائية في كلية الهندسة / جامعة الموصل باستخدام قناة مختبرية مكونة من جزئين قناة رئيسية وقناة فرعية، وفيما يأتي التفاصيل المتعلقة بهاتين القناتين:

#### 1. القناة الرئيسية والفرعية

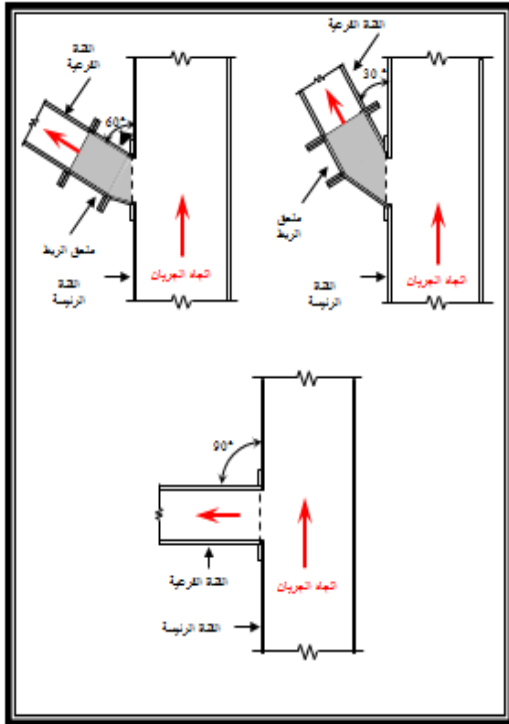
القناة الرئيسية عبارة عن قناة معلقة (Flume)، طولها 10 م وعرضها 30 سم وارتفاعها 45 سم، ذات جوانب زجاجية وقعر من الحديد المغلوق، القناة مجهزة بخزانات للماء خاصة بها تمتد على أحد جوانبها، ويعتمد نظام التشغيل على نظام الجريان المغلق (Recirculation System)، إذ يتم سحب المياه من هذه الخزانات ويعاد التصريف إليها أيضاً، يدور الماء في القناة عن طريق مضخة يبلغ أعظم تصريف فعلي لها 17.25 لتر/ثا. تم وضع هدار (حسب المواصفات البريطانية) بارتفاع 10 سم ويعرض القناة الرئيسية ببعده 35 سم عن نهاية القناة لقياس التصريف المار بها، تحتوي القناة الرئيسية على فتحة في جدارها الأيسر ويعرض 15 سم وبارتفاع القناة، يبعد مركز هذه الفتحة 4.575 م عن بداية القناة وذلك لغرض ربط القناة الفرعية مع القناة الرئيسية. أما القناة الفرعية فهي قناة مصنوعة من البلاستيك الشفاف بطول 2.0 م وعرض 15 سم وارتفاع 30 سم، يرتبط بنهايته حوض من البلاستيك بإبعاد 70 سم طولاً و40 سم عرضاً، ويحتوي على بوابة ذبالية متحركة متغيرة الارتفاع وذلك من أجل التحكم بارتفاع الماء في القناة الفرعية، وتحتوي القاعدة التي تحمل القناة الفرعية على لولب متحركة لغرض التحكم بانحدار القناة. تحتوي القناة على خزان يقع عند نهايتها لتجميع المياه المارة فيها ومن ثم تحويله إلى خزانات القناة الرئيسية عن طريق مضخة غاطسة رُبطَ بها طواف كهربائي وذلك للحفاظ على مستوى ثابت للماء في الخزانات جميعها. كما تم ربط أنابيب بلاستيكية (بيزوميترات) في مركز قعر القناة وعلى طولها لمراقبة ارتفاع الماء فيها، وذلك بالاستعانة بلوحة البيزوميترات العمودية المثبتة على احد جانبي القناة.

#### 2. زوايا الربط

تم أخذ ثلاث زوايا للقناة الفرعية مع اتجاه الجريان للقناة الرئيسية وهي  $30^\circ$  و  $60^\circ$  و  $90^\circ$ ، إذ تم ربط الزاوية  $90^\circ$  مباشرة مع القناة الرئيسية فأصبح طول القناة الفرعية 2.0 م، أما الزاويتان  $30^\circ$  و  $60^\circ$  فتم ربطهما عن طريق ملحق لتغيير زاوية التفرع، إذ أنّ طول مركز هذا الملحق هو (19، 23.5) سم للزاويتين  $30^\circ$  و  $60^\circ$  على التوالي، فأصبح طول القناة الفرعية للزاويتين  $30^\circ$  و  $60^\circ$  (2.19، 2.235) م على التوالي، الشكل (1) يبين ملحقات الربط وطريقة ربط القناة الفرعية مع القناة الرئيسية. أما برنامج العمل المختبري فقد كان كالآتي:

تم اعتماد ثلاث زوايا مختلفة وهي  $30^\circ$ ،  $60^\circ$ ،  $90^\circ$  لربط القناة الفرعية مع القناة الرئيسية، كما تم تغيير انحدار القناة الفرعية لكل زاوية أربع مرات (0.001، 0.0015، 0.002، 0.0025)، في كل انحدار تم إمرار خمسة تصاريح في القناة الرئيسية (13، 14، 15، 16، 17.25) لتر/ثا، لكل تصريف تم أخذ خمس حالات مختلفة لارتفاع الماء في القناة الفرعية وقد تم اختيارها كما يأتي:

- 1- أقل ارتفاع ممكن للماء داخل القناة الفرعية دون حدوث تأثير لسقوط الماء الحر (Free Fall) نتيجة لخفض البوابة في الحوض المربوط في نهاية القناة الفرعية
- 2- أعلى ارتفاع ممكن للماء داخل القناة الفرعية دون حدوث تأثير للماء الخلفي (Back Water) نتيجة لرفع البوابة في الحوض المربوط بنهاية القناة الفرعية.
- 3- اختيار قيمة لعرق الماء في القناة بحيث تكون قيمة معامل



الشكل (1): ملحقات الربط وطريقة ربط القناة الفرعية مع القناة الرئيسية

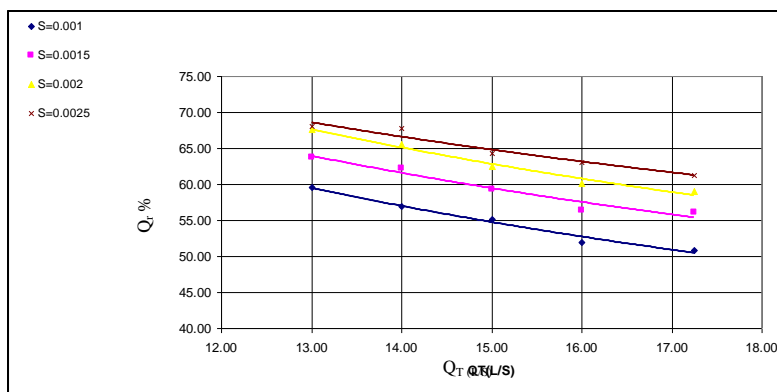
مانتك  $n=0.01$  ( إذ تُعدّ هذه القيمة هي القيمة المتوسطة لمعامل مانتيك للزجاج (Chow, 1959)).  
 4- تم أخذ عمقين إضافيين للماء بحيث يكون أحدهما أكبر من العمق في النقطة (3) أعلاه، والأخر أقل منه.  
 وبهذا يصبح عدد التجارب المختبرية 300 تجربة.  
 تم قياس منسوب سطح الماء في أثناء التجارب باستخدام المقياس العمودي النقطي (Point Gauge).

### تحليل ومناقشة النتائج المختبرية

إن من أهم الأهداف التي استند إليها البحث الحالي هو إيجاد علاقة بين تصريف القناتين الرئيسة والفرعية في الجريان المتفرع عند تغير انحدار قعر القناة الفرعية وزاوية التقائها مع القناة الرئيسة، لذلك تم إجراء تحليل شامل للبيانات العملية التي تم الحصول عليها مختبرياً.

#### 1. انحدار القناة الفرعية

في هذا البحث تم اعتماد انحدار ثابت لقعر القناة الرئيسة وهو 0.00025 للتجارب العملية جميعها ، أما القناة الفرعية فتم أخذ أربع قيم للانحدار وهي 0.001 و 0.0015 و 0.002 و 0.0025، ولتوضيح تأثير انحدار القناة الفرعية في التصريف فقد تم رسم العلاقة بين نسبة التصريف في القناة الفرعية إلى التصريف الكلي ( $Q_r$ ) و التصريف الكلي في القناة الرئيسة ( $Q_T$ ) كما في الشكل (2)، (كنموذج للعلاقة بين الاثنين)، مع تثبيت زاوية التفرع وقيمة  $n$  وللانحدارات الأربعة المختلفة. يلحظ من الشكل السابق أنّ نسبة التصريف تزداد مع زيادة انحدار القناة الفرعية حيث ان الزيادة في  $Q_r$  عند زيادة انحدار القناة عن الانحدار الأول ( $S_b=0.001$ ) تراوحت ما بين 4.25% و 12.13%. ويمكن تمثيل العلاقة بينهما بالصيغة التالية:



الشكل (2): العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع والتصريف الكلي لانحدارات

$$Q_r \% = a_1 Q_T^{-a_2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

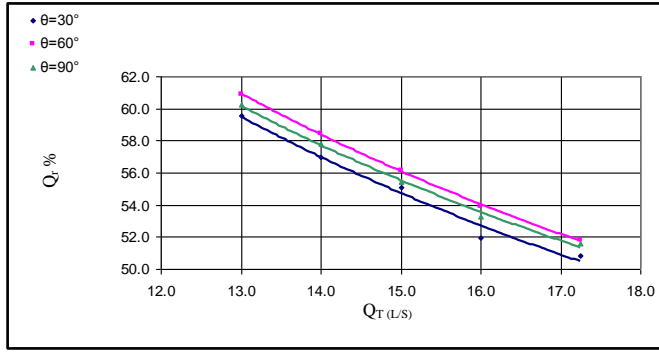
حيث تراوحت معاملات التحديد ( $R^2$ ) ما بين 0.949 و 0.999. والجدول (1) يبين قيم  $a_1$ ,  $a_2$  للانحدارات وزوايا التفرع المختلفة و ( $n=0.01$ ).

الجدول (1): قيم  $a_1, a_2$  في المعادلة (1) ولانحدارات وزوايا تفرع مختلفة ( $n=0.01$ )

$S_b$	$\theta$					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	$a_1$	$a_2$	$a_1$	$a_2$	$a_1$	$a_2$
<b>0.001</b>	264.33	0.5815	268.87	0.5787	252.88	0.5598
<b>0.0015</b>	235.97	0.5091	261.76	0.5314	252.29	0.5207
<b>0.002</b>	253.25	0.5148	241.89	0.4831	258.19	0.5113
<b>0.0025</b>	190.46	0.3982	246.28	0.4779	255.52	0.4935

#### 2. زاوية تفرع القناة الفرعية

تم رسم نسبة التصريف المتفرع إلى التصريف الكلي في القناة الرئيسة ( $Q_r$ ) و التصريف الكلي ( $Q_T$ ) لحالات زوايا التفرع ( $\theta$ ) الثلاثة المختلفة مع تثبيت انحدار قعر القناة الفرعية ( $S_b$ ). كما في الشكل (3) كنموذج للعلاقة بين الاثنين. يلحظ



الشكل (3): العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع و التصريف الكلي لزاوية تفرع مختلفة ( $S_b=0.001$  ,  $n=0.01$ )

القناة الفرعية. كما يلحظ أن قطعة الربط التي استخدمت في زاوية  $30^\circ$  هي أطول من مثلثتها في الزاوية  $60^\circ$  مما يسبب المزيد من الضياع في الطاقة، وخشونة إضافية تقلل من كمية الجريان في هذه الحالة. لقد بلغت الزيادة في نسبة التصريف المتفرع لزاوية تفرع  $60^\circ$  عن مثلثتها بزاوية  $90^\circ$  ما بين (0.23 و 1.14)% و زاوية  $30^\circ$  ما بين (0.98 و 4.29)%.

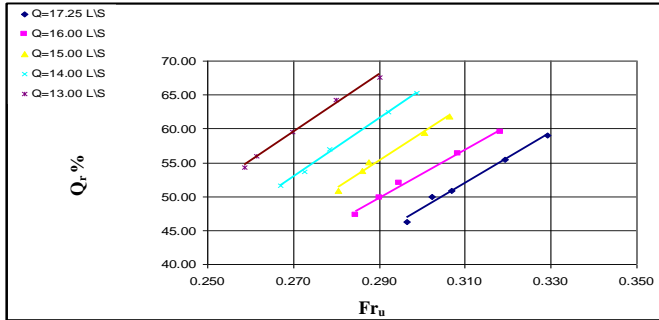
### 3. سرعة الجريان

لتوضيح تأثير سرعة الجريان على التصريف في القنوات الفرعية تم الاعتماد على رقم فرود في مقدم جريان القناة الرئيسية ( $Fr_U$ ) ومؤخر جريانها ( $Fr_D$ ) وفي القناة الفرعية ( $Fr_b$ ) بوصفه مؤشراً على تأثير سرعة الجريان. وعليه تم رسم العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع و رقم فرود كما مبين في الأشكال من (4) إلى (6) كنموذج للعلاقة ما بين الاثنین وتم أيضاً إيجاد العلاقة بين نسبة التصريف ( $Q_r$ ) ورقم فرود وكانت بالصيغة التالية:

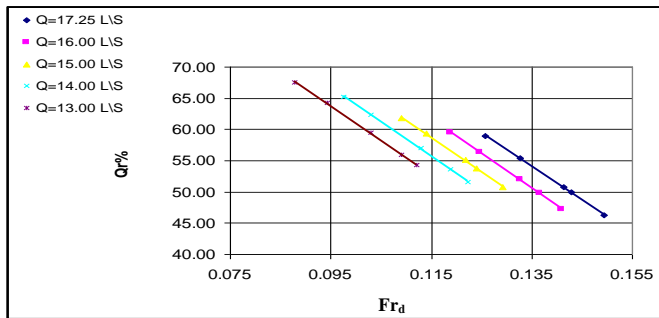
$$Q_r\% = a_3(Fr_U) - a_4 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_r\% = -a_5(Fr_D) + a_6 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_r\% = a_7(Fr_b) + a_8 \quad \dots\dots\dots(4)$$



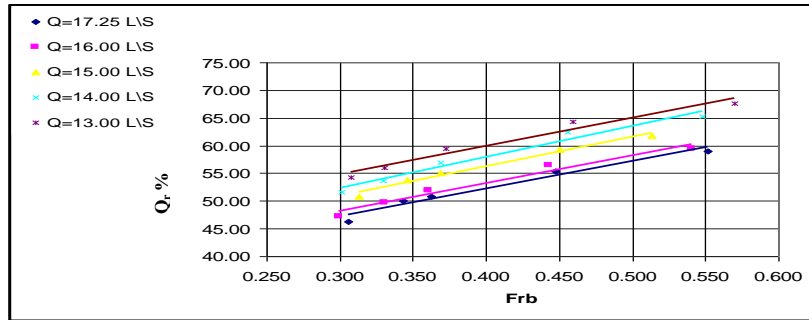
الشكل (4): العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع ورقم فرود في مقدم



الشكل (5): العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع ورقم فرود في مؤخر

من هذه الأشكال والنتائج أنّ أعلى نسبة تصريف تم الحصول عليها هي عندما تكون الزاوية  $60^\circ$ ، ومن ثم الزاوية  $90^\circ$  وأقل نسبة تحصل عند الزاوية  $30^\circ$ ، وهذا يعود إلى طريقة الربط ومدى الاضطراب في الجريان والضياع في الطاقة الذي يحدث في منطقة التفرع. إذ أنّ قطعة الربط التي استخدمت عندما تكون زاوية التفرع  $60^\circ$  تُتيح انسيابية أفضل للجريان من القناة الرئيسية إلى القناة الفرعية، وبالتالي تقلل من الاضطراب في الجريان والضياع بالطاقة. أما عندما تكون زاوية التفرع  $90^\circ$  فإنّ هناك صعوبة أكبر في دخول الماء إلى القناة الفرعية بسبب ظاهرة الاستمرارية التي تجعل الماء يستمر في اتجاهه الأول (باتجاه بقية القناة الرئيسية)، وتقل كمياته التي تتجه إلى

إذ تراوحت معاملات التحديد بين (0.810 و 0.999) والجداول من (2) إلى (4) تبين قيم  $a_3$  إلى  $a_8$  للتصريف وزوايا التفرع المختلفة وحالة انحدار القناة الفرعية بمقدار (0.001) و ( $n=0.01$ ) بوصفه نموذج للعلاقة بين الاثنین. ويلحظ من الأشكال والمعادلات وجود علاقة خطية قوية بين نسبة التصريف ورقم فرود في الحالات جميعها، وأنّ نسبة التصريف تتناسب طردياً مع رقم فرود في مقدم جريان القناة الرئيسية وفي القناة الفرعية في حين تتناسب عكسياً مع رقم فرود في مؤخر جريان القناة الرئيسية، وهذا يعود إلى أنّه كلما زادت المياه الداخلة إلى القناة الفرعية قلّ الزخم في الرئيسية، وبالتالي تقل السرعة في مؤخر جريان القناة الرئيسية ورقم فرود في مؤخر جريان القناة الرئيسية. ومن الجدير بالذكر هنا أنّ الباحث هسو وآخرون (Hsu, et. al., 2002) قد توصلوا إلى العلاقة العكسية نفسها بين نسبة التصريف ورقم فرود في مؤخر جريان القناة الرئيسية، وأنّ هذه العلاقة كانت خطية أيضاً عند قيم رقم فرود التي تراوحت بين (0.0-0.2) كما في هذا البحث.



الشكل (6): العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع ورقم فرود في القناة الفرعية ( $S_b=0.001$ ,  $\theta=30^\circ$ )

الجدول (2): قيم  $a_3$ ,  $a_4$  في المعادلة (2) وللتصريف وزوايا التفرع المختلفة ( $n=0.01$ ,  $S_b=0.001$ )

$Q_T$ L/sec	$\theta$					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	$a_3$	$a_4$	$a_3$	$a_4$	$a_3$	$a_4$
13	424.57	55.121	385.1	44.406	403.62	50.048
14	432.69	63.959	341.98	38.646	364.96	44.919
15	405.99	62.466	355.29	48.121	362.98	50.083
16	356.68	53.736	401.86	66.764	359.64	53.959
17.25	374.79	64.184	358.31	59.499	326.06	49.311

الجدول (3): قيم  $a_5$ ,  $a_6$  في المعادلة (3) وللتصريف وزوايا التفرع المختلفة ( $n=0.01$ ,  $S_b=0.001$ )

$Q_T$ L/sec	$\theta$					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	$a_5$	$a_6$	$a_5$	$a_6$	$a_5$	$a_6$
13	552.79	116.32	528.54	113.99	535.64	114.65
14	549.95	118.99	469.78	110.27	527.88	116.65
15	549.32	121.89	533.97	120.12	540.17	120.83
16	552.86	125.24	535.19	123.03	539.04	123.52
17.25	541.24	127.2	523.38	124.8	526.34	125.2

الجدول (4): قيم  $a_7$ ,  $a_8$  في المعادلة (4) وللتصريف وزوايا التفرع المختلفة ( $n=0.01$ ,  $S_b=0.001$ )

$Q_T$ L/sec	$\theta$					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	$a_7$	$a_8$	$a_7$	$a_8$	$a_7$	$a_8$
13	51.025	39.518	65.236	36.754	58.991	37.979
14	56.263	35.437	60.618	36.049	54.798	37.636
15	53.571	34.838	62.008	32.941	53.857	35.447
16	50.047	33.222	60.795	31.604	59.794	31.358
17.25	49.602	32.355	61.696	29.797	51.453	32.934

## خليل: دراسة مختبرية لتأثير زاوية التفرع وانحدار القناة الفرعية على الجريان

الجدول (5): قيم  $a_9$  ,  $a_{10}$  في المعادلة (5) وللتصريف وزوايا التفرع المختلفة ( $n=0.01$ ,  $S_b=0.001$ )

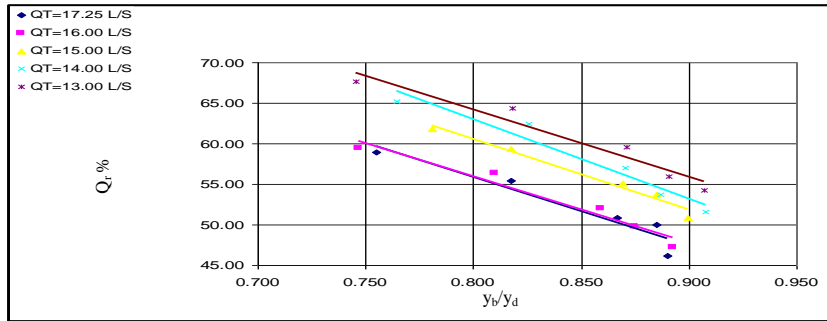
$Q_T$ L/sec	$\theta$					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	$a_9$	$a_{10}$	$a_9$	$a_{10}$	$a_9$	$a_{10}$
13	82.869	130.48	135.6	182.68	111.42	158.33
14	98.019	141.4	105.39	152.6	101.44	147.71
15	87.604	130.68	119.75	161.62	87.18	131.97
16	81.987	121.57	113.97	154.54	113.22	152.17
17.25	84.105	123.17	129.97	167.91	93.576	133.97

### 4. نسبة عمق الماء

تم رسم قيم نسبة التصريف المتفرع إلى التصريف الرئيس ونسبة عمق الماء في القناة الفرعية إلى عمقه في مؤخر جريان القناة الرئيسة  $(\frac{y_b}{y_d})$ ، وكما في الشكل (7) بوصفه نموذج للعلاقة بين الاثنین، كما تم الربط بينهما بمعادلات خطية بسيطة بالصيغة التالية:

$$Q_r\% = -a_9(\frac{y_b}{y_d}) + a_{10} \quad \dots\dots\dots(5)$$

إذ تراوحت قيمة معامل التحديد بين (0.650 و 0.997). والجدول (5) يبين قيم  $a_9$  و  $a_{10}$  للتصريف وزوايا التفرع المختلفة ولحالة انحدار القناة الفرعية بمقدار (0.001) و ( $n=0.01$ ) كنموذج للعلاقة بين الاثنین. يلحظ من هذا الشكل والنتائج أنّ العلاقة ما بين نسبة التصريف و  $(\frac{y_b}{y_d})$  هي علاقة عكسية.



الشكل (7): العلاقة بين نسبة التصريف المتفرع و  $(\frac{y_b}{y_d})$  لتصريف مختلفة ( $\theta=30^\circ$ ,  $S_b=0.001$ )

### إيجاد معادلة وضعية لحساب نسبة التصريف المتفرع

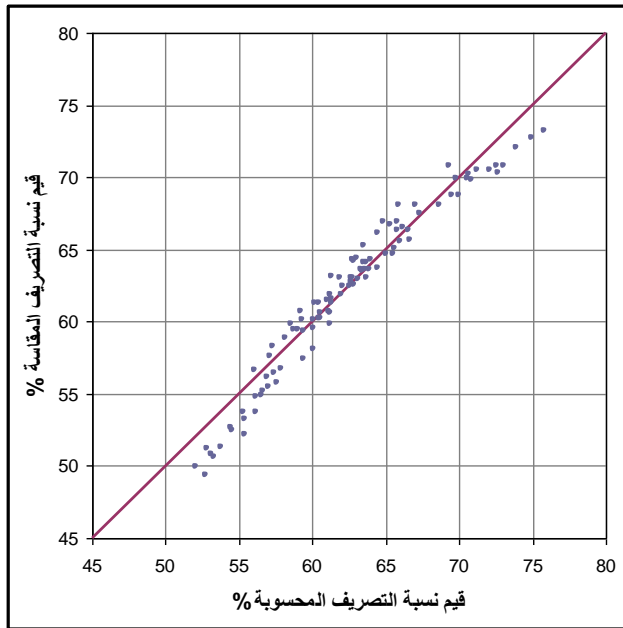
استخدم البرنامج الإحصائي SPSS لاستنباط معادلة وضعية لحساب نسبة التصريف المتفرع، حيث عن طريقه تم وبصورة عشوائية فصل ثلاثي قيم المتغيرات المقاسة والمحسوبة واستخدامها لإيجاد المعادلة، ومن ذلك تم الحصول على العلاقة الآتية وبمعامل تحديد ( $R^2$ ) مقداره (0.953)

$$Q_r\% = 27.98 \cdot \left( \frac{S_b^{0.029} \cdot (\sin\theta)^{0.053}}{\left(\frac{y_b}{y_d}\right)^{0.384} \cdot Fr_d^{0.409}} \right) \quad \dots\dots\dots(6)$$

لقد تم استخدام التثالث المتبقي من قيم المتغيرات للتحقق من دقة المعادلة (6)، إذ تم أيضاً حساب نسبة الخطأ لهذه القيم من المعادلة الآتية:

$$\% \text{Error} = \left( \frac{(Q_r)_{\text{act.}\%} - (Q_r)_{\text{the.}\%}}{(Q_r)_{\text{act.}\%}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

إذ أن  $(Q_r)_{\text{act}}$  نسبة التصريف المقاس و  $(Q_r)_{\text{the}}$  نسبة التصريف المحسوب من المعادلة (6). والشكل (8) يوضح المقارنة بين القيم المقاسة والمحسوبة لنسبة التصريف، إذ أن نسبة الخطأ لم تتجاوز  $\pm 7\%$  للقراءات جميعها مما يدل على دقة المعادلة. ومن الجدير بالذكر هنا قبل اعتماد المعادلة (6) تم إجراء سلسلة من المحاولات لصيغ أخرى مشابهة للمعادلة أعلاه باعتماد متغيرات أخرى يعتقد بوجود تأثير مباشر ومهم لها على نسبة التصريف مثل ارتفاع الماء وسرعة الجريان ورقم فرود في مقدم الجريان في القناة الرئيسية. غير أن نتائج التحليل الإحصائي أظهرت تأثيرات ضعيفة جداً لهذه المتغيرات مما أدى إلى إهمالها واعتماد المتغيرات المذكورة بالمعادلة (6) بدلاً عنها.



الشكل (8): المقارنة بين القيم المقاسة والمحسوبة لنسبة التصريف

### الاستنتاجات

في ضوء التجارب التي أجريت وضمن محددات هذا البحث تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1. تزداد نسبة التصريف الفرعي إلى التصريف الكلي مع زيادة انحدار القناة الفرعية، إذ بلغت أكبر زيادة عند تغير الانحدار من 0.001 إلى 0.0025 (12.13%).
2. أعلى نسبة تصريف تم الحصول عليها هي عندما تكون زاوية التفرع  $60^\circ$  ومن ثم الزاوية  $90^\circ$  وأقل نسبة تحصل عند الزاوية  $30^\circ$  وبلغ أعلى فرق بنسبة التصريف بين الزاوية  $60^\circ$  و  $30^\circ$  (4.29%).
3. إن نسب التصريف التي مرت في القناة الفرعية تراوحت بين (46.21 و 74.47)% ولكل الحالات.
4. إن العلاقة بين نسبة التصريف ورقم فرود علاقة خطية وتتناسب طردياً مع رقم فرود في مقدم جريان القناة الرئيسية وفي القناة الفرعية، كما تتناسب عكسياً مع رقم فرود في مؤخر جريان القناة الرئيسية.
5. العلاقة بين نسبة التصريف ونسبة عمق الماء في القناة الفرعية إلى عمقه في مؤخر جريان القناة الرئيسية علاقة خطية عكسية، كما إن عمق الماء في مؤخر جريان القناة الرئيسية دائماً أكبر منه في مقدمها، وأن عمق الماء في مقدم جريان القناة الرئيسية ومؤخرها دائماً أكبر من عمق الماء في القناة الفرعية.
6. إن أقل عمق ماء في القناة الرئيسية يحدث في الجهة اليسرى من القناة وعلى بعد ما بين (4.50 – 4.575) م من بداية القناة، وهذه المسافة تمثل النصف الأول من القناة الفرعية إذ أنها تلتقي مع القناة الرئيسية على بعد ما بين (4.50 – 4.65) م، وأعلى عمق ماء في القناة الرئيسية على بعد ما بين (4.66-4.72) م، أما بالنسبة للقناة الفرعية فإن الجريان يستقر على بعد بين (50 – 70) سم من بدايتها بالزاوية  $30^\circ$  وبين (30-40) سم بالزاوية  $60^\circ$  وبين (40-45) سم بالزاوية  $90^\circ$ .
7. إن التغير الحاصل بنسبة التصريف قليل نسبياً عند تغير زاوية التفرع في حال بقاء مدخل القناة الفرعية مساوياً لعرضها.
8. يحدث هبوط واضح في مستوى سطح الماء في مدخل القناة الفرعية في جميع التجارب بغض النظر عن تغير التصريف والمتغيرات الأخرى مما يتطلب ملاحظة ذلك عند إنشاء القنوات المتفرعة خاصة الترابية منها، وملاحظة تأثير ذلك في منطقة الاتصال، ويتحول هذا الهبوط إلى قفزة هيدروليكية عندما يكون انحدار القناة الفرعية 0.002 أو أكثر



المصادر

1. العمري، نشوان كمال الدين، (2009)، " دراسة مختبرية لتأثير زاوية التفرع وانحدار القناة الفرعية على الجريان" رسالة ماجستير، هندسة الموارد المائية / هيدروليك، كلية الهندسة ، جامعة الموصل.
2. British Standard Institution (BSI), (1965), "Method of Measurement of Liquid Flow in Open Channel", part 4A.BSI, 3680,London,English,U.K.
3. Chow, V. T., (1959), "Open Channel Hydraulics", Mc Crow-Hill book Co., New York.
4. Hadian, M. R., and Zarrati, A. R., (2008), "Application of Multi-Block Method for Simulating Shallow Free Surface Flows In Complex Geometries", Journal of Hydraulic Research, Vol. 46 No. 5, pp. 668–678.
5. Hsu, C.C., Tang, C.J., Lee, W. J. and Shieh , M. Y., (2002), "Subcritical 90° Equal – Width. Open – Channel Dividing Flow", ASCE, J. of Hydraulic Engineering, Vol. 128, No.7, pp. 716-720.
6. Neary, V.S., Sotiropoulos, F. and Odgaard, A.J., (1999), "Three-Dimensional Numerical Model of Lateral-Intake Inflows", ASCE, J. of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No.2, pp. 126-140.
7. Ramamurthy, A.S., Tran, D.M. and Carballada, L. B., (1990), "Dividing Flow in Open Channels", ASCE, J. of Hydraulic Engineering, Vol. 116, No.7, pp. 449-455.
8. Shettar, A. S., and Murthy, K. K. (1996). "A Numerical Study of Division of Flow in Open Channels", J. Hydraulic Res., Vol. 34, No. 5, pp. 651–675.