

دراسة مختبرية لتبديد طاقة الجريان باستخدام الهدارات المدرجة

عزة نصر الله الطالب

مدرس مساعد

قسم هندسة الموارد المائية / كلية الهندسة / جامعة الموصل

هناء عبد المجيد حياوي

أستاذ مساعد

الخلاصة:

أجريت دراسة مختبرية على هدارات مدرجة وغير مدرجة ، لمعرفة كفاءتها في تبديد طاقة الجريان، حيث تم إنشاء واختبار (36) نموذجاً ، منها (27) هدار مدرج و(9) هدارات غير مدرجة للمقارنة بينهما في تبديد طاقة الجريان. واستخدمت ثلاثة ارتفاعات للهدارات المدرجة ($P=36,45,54$) سم بأعداد مختلفة للدرجات ($n=9,12,15$) وميول التدرج ($h/l=1/2,1/3,1/4$)، أما بالنسبة للهدارات غير المدرجة فقد استخدم ارتفاع واحد ($P=54$) سم وثلاثة ميول لمؤخر الهدارات ($\alpha=26.6^\circ, 18.4^\circ, 14^\circ$). أوضحت نتائج الدراسة أن زيادة ارتفاع الهدار (P) وتقليل كل من عدد الدرجات (n) وميل التدرج (h/l) يؤدي إلى زيادة نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$)، كما أكدت الدراسة أن الهدارات المدرجة أكثر كفاءة في تبديد طاقة الجريان مقارنة بالهدارات غير المدرجة ، وأن نسبة تبديد طاقة الجريان تزداد بزيادة نسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج (P/d_c) ونسبة طول الدرجة إلى عمق الماء الحرج (l/d_c) ونسبة ارتفاع الدرجة إلى عمق الماء الحرج (h/d_c) بينما تقل بزيادة التصريف (Q). كما تم التوصل إلى علاقات رياضية بين نسبة تبديد طاقة الجريان والعوامل المؤثرة عليها في الهدارات المدرجة. كلمات الدلالة: هدار مدرج، تبديد الطاقة.

Laboratory Study of Flow Energy Dissipation Using Stepped Weirs

Hana Abd AL-Majeed Hayawi

Asst. Prof.

Azza Nasiralla AL-Talib

Asst.Lect.

Dept. of Water Resources, College of Eng., Mosul Univ.

Abstract

A laboratory study was conducted on stepped and unstepped weirs in order to find their efficiency of dissipating flow energy. Thirty six weirs were constructed and tested to compare between stepped and unstepped weirs in flow energy dissipation, twenty seven of them were stepped while the rest were unstepped. Three heights of stepped weirs ($P=36,45,54$)cm were used with different numbers of steps ($n=9,12,15$) , and three downstream slopes of stepped face ($h/l=1/2,1/3,1/4$) were tested, while for unstepped weirs one height of weir ($P=54$)cm and three downstream slopes ($\alpha=26.6^\circ, 18.4^\circ, 14^\circ$) were tested. The results showed that increasing height of weir and decreasing both number of steps and downstream slops stepped face of the weir will cause an increase of the ratio of flow energy dissipation, and the stepped weirs are more efficient in flow energy dissipation compared with unstepped weirs. The percentage of flow energy dissipation ($E\%$) is increased by increasing the ratio of height of weir to critical water depth (P/d_c), the ratio of length of the step to critical water depth (l/d_c) and the ratio of height of step to critical water depth (h/d_c) while it decreases by increasing the discharge (Q). Imperical relationships between the ratio of flow energy dissipation and factors affecting it were obtained in stepped weirs.

قائمة الرموز:

L	عرض الهدار	b
L	عمق الماء الحرج	d_c
L	عمق الماء فوق قمة الهدار المدرج	d_o
-	نسبة تبديد طاقة الجريان	$E\%$
L	طاقة الجريان مؤخر الهدار مقدم القفزة الهيدروليكية	E_1
-	نسبة تبديد طاقة الجريان المحسوبة من دراسة باراني وآخرين (Barani et.al.,2005)	$E_{ba}\%$
-	نسبة تبديد طاقة الجريان في حالة الجريان المتدرج المحسوبة من دراسة جانسون (Chanson,1994b)	$E_{chn}\%$
-	نسبة تبديد طاقة الجريان في حالة الجريان الانسيابي المحسوبة من دراسة جانسون (Chanson,1994b)	$E_{chs}\%$
-	نسبة تبديد طاقة الجريان من البرنامج الحسابي للهدارات المدرجة	$E_{sp}\%$
L	ارتفاع الدرجة	h
-	ميل التدرج	h/l
L	طول الدرجة	l
L	طول الحافة العليا للهدار غير المدرج	L
-	عدد الدرجات	n
L	ارتفاع الهدار	P
L ³ /T	التصريف	Q
L/T	سرعة الجريان مقدم القفزة الهيدروليكية	V_1
L/T	سرعة الجريان مؤخر القفزة الهيدروليكية	V_2
L/T	سرعة الجريان مقدم المجرى المنتظم عند العمق (d_o)	V_o
L	عمق الماء مقدم القفزة الهيدروليكية	y_1
-	ميل مؤخر الهدار	α

المقدمة:

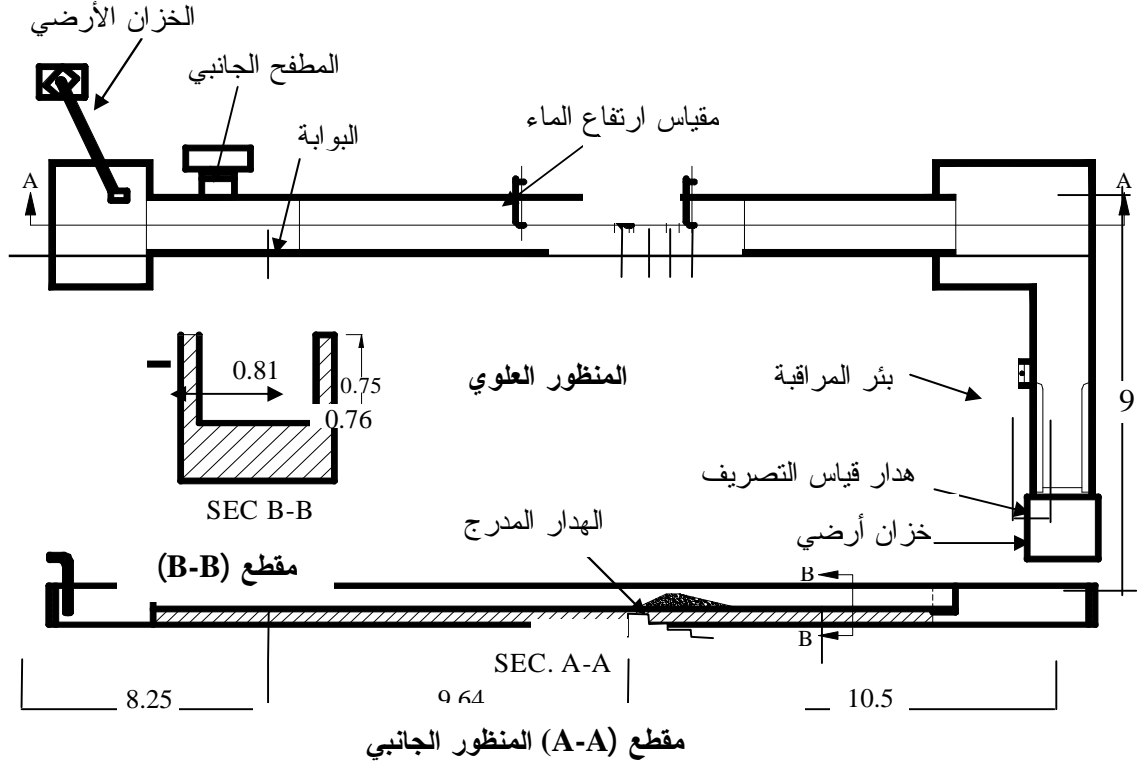
يعد الماء المصدر الرئيس لحياة الكائنات على سطح الأرض وبه تقوم الحياة وتتمو الحضارات، وانطلاقاً من أهمية الماء عمد الإنسان إلى الحفاظ عليه واستغلاله بالشكل الأمثل عن طريق إنشاء السدود والهدارات عبر الأنهار ونتيجة للطاقة العالية للجريان حدث تدمير للمنشآت، ومع تقدم التكنولوجيا تطور تصميم السدود والخزانات والقنوات خاصة لغرض تمرير مياه الفيضانات وتبديد طاقة الجريان بشكل آمن (Chanson ,1998).

لقد تطرقت العديد من البحوث السابقة إلى دراسة المنشآت الهيدروليكية المدرجة وأساليب زيادة تبديد طاقة الجريان ،حيث درس جانسون (Chanson,1994a) الخصائص الهيدروليكية للجريان الانسيابي في القنوات والمطافح المدرجة ،ولغرض المقارنة بين حالات الجريان المختلفة أجريت دراسة في قناة مدرجة من قبل الباحث جانسون (Chanson,1994b)، وقد أجريت دراسة على المطافح المدرجة من قبل الباحث كومار وآخرين (Kumar et.al.,1994) وجانسون وتوميز (Chanson & Toombes, 1997) ، كما درس الباحثان جاماني وراجارتنام (Chamani & Rajartnam,1999) خصائص الجريان الانسيابي فوق المطافح المدرجة ، وأجرى الباحث باراني وآخرون (Barani et.al.,2005) دراسة حول تبديد طاقة الجريان فوق أنواع مختلفة من المطافح المدرجة.

ومن خلال مراجعة البحوث السابقة، تبين عدم وجود دراسات مستفيضة حول تغيير الأبعاد الهندسية للهدار المدرج ودراسة تأثيرها على تبديد طاقة الجريان، ولما للهدارات من أهمية كبيرة في قياس التصريف ورفع منسوب الماء في القنوات المفتوحة لذا تتطلب الحاجة إلى إجراء دراسة مختبرية للهدارات المدرجة بتبديد جزء من طاقة الجريان المار فوقها. لذا تم في هذا البحث اجراء دراسة مختبرية على هدارات مدرجة وغير مدرجة ، لمعرفة كفاءتها في تبديد طاقة الجريان.

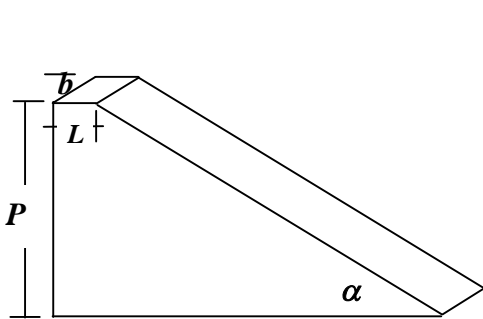
العمل المختبري:

أجريت التجارب في قناة كونكريتية مستطيلة المقطع بطول (24.64) م وعرض (0.81) م وعمق (0.76) م يوجد في نهايتها هدار حديدي بأبعاد (18 سم ارتفاع ، 50 سم طول، 6 ملم سمك) ، ويوضح الشكل (1) القناة المختبرية المستخدمة في الدراسة.

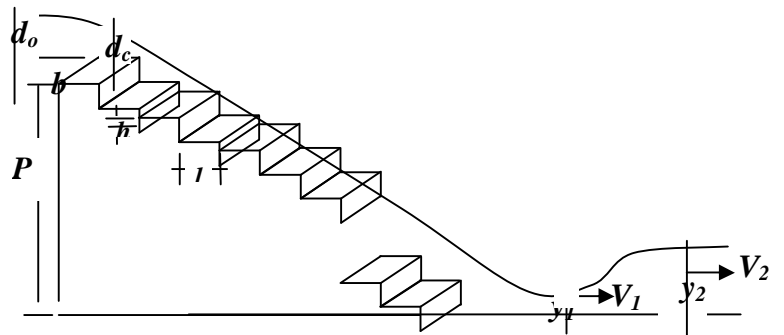


شكل (1) القناة المختبرية جميع الأبعاد بالمتري

ولغرض دراسة تبديد الطاقة فوق الهدرات المدرجة وغير المدرجة، تم إنشاء وفحص (36) نموذجاً مصنوعاً من الخشب وصنفت الهدرات إلى مجموعتين تضمنت المجموعة الأولى (27) هداراً مدرجاً حيث يوضح الشكل (2) نموذجاً للهدار المدرج، إذ أن ارتفاع الهدار و (P) ارتفاع الهدار و (h) ارتفاع الدرجة و (l) طول الدرجة و (b) عرض الهدار، و تضمنت المجموعة الثانية (9) هدرات غير مدرجة ويوضح الشكل (3) نموذجاً للهدار غير المدرج، وكانت الهدرات المدرجة بثلاث ارتفاعات ($P=36,45,54$) سم وتم تغيير ميل الهدرات لكل ارتفاع بثلاث زوايا وبالاعتماد على ميل التدرج (h/l) ($h/l=1/2$)، ($h/l=1/3$)، ($h/l=1/4$) ($\alpha=14^\circ$)، ($\alpha=18.4^\circ$)، ($\alpha=26.6^\circ$) بأعداد مختلفة للدرجات لكل ميل ($n=9,12,15$)، أما بالنسبة للهدرات غير المدرجة فقد استخدم ارتفاع واحد ($P=54$) سم وثلاثة ميول لمؤخر الهدرات ($\alpha=26.6^\circ, 18.4^\circ, 14^\circ$) ولكل زاوية اعتمدت ثلاثة أطوال للحافة العليا للهدار التي تقابل طول الدرجة في الهدرات المدرجة لكي تتم المقارنة بنفس الأبعاد بين الهدرات المدرجة وغير المدرجة.



شكل (3) نموذج لهدار غير مدرج



شكل (2) نموذج لهدار مدرج

ثبتت النماذج على بعد (16.64) م من مقدم القناة وتم قياس ارتفاع الماء في القناة مقدم الهدار ومؤخره (قبل وبعد القفزة الهيدروليكية) بواسطة المقياس المستند الذي تبلغ دقته (0.1) ملم. أما التصريف في القناة فقد تم قياسه عن طريق الهدار في مؤخر القناة المصنع حسب المواصفات البريطانية (BSI,1965).

النتائج والمناقشة:

تعرف نسبة تبديد طاقة الجريان بأنها النسبة بين فرق طاقة الجريان مقدم ومؤخر الهدار المدرج إلى طاقة الجريان الكلية مقدم الهدار المدرج، وتهدف الدراسة إلى زيادة نسبة تبديد طاقة الجريان بغية تقليل خطر طاقة الجريان العالية.

تتأثر نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$) للهدارات المدرجة بعدة عوامل منها الخصائص الهندسية للهدار والدرجات مثل ارتفاع الهدار (P) وعدد الدرجات (n) وطول الدرجة (l) وارتفاع الدرجة (h) وميل التدرج (h/l) كما تتأثر بعمق الماء الحرج (d_c).

وبإتباع عملية التحليل البعدي باستخدام نظرية باي (π -Theorem) نجد أن نسبة تبديد طاقة الجريان تعد دالة للمتغيرات التالية:

$$E\% = f\left(\frac{P}{d_c}, n, \frac{l}{d_c}, \frac{h}{d_c}, \frac{h}{l}\right) \dots \dots \dots (1)$$

أما بالنسبة للهدارات غير المدرجة فإن نسبة تبديد طاقة الجريان تعد دالة للمتغيرات الآتية:

$$\dots \dots \dots (2) E\% = f\left(\frac{P}{d_c}, \frac{L}{d_c}, \alpha\right)$$

إذ أن:

α : ميل مؤخر الهدار

L : طول الحافة العليا للهدار غير المدرج

تم حساب نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$) كما يأتي:

من خلال قياس عمق الماء فوق قمة الهدار المدرج (d_o) وشحنة سرعة الجريان مقدم المجرى المنتظم

عند العمق (d_o)، ومن معرفة ارتفاع الهدار (P) يتم إيجاد مقدار الطاقة الكلية للجريان مقدم الهدار المدرج

(E_{max}) وكما يأتي:

$$E_{max} = P + d_o + \frac{V_o^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

وبغية إيجاد طاقة الجريان مؤخر الهدار مقدم القفزة الهيدروليكية (E_1) يتم اعتماد معادلة القفزة الهيدروليكية بعد

قياس شحنة السرعة مؤخر القفزة الهيدروليكية ($V_2^2/2g$) بواسطة مقياس السرعة (Pitot-tube) وعمق الماء مؤخر

القفزة الهيدروليكية (y_2) لإيجاد قيم عمق الماء وشحنة السرعة مقدم القفزة الهيدروليكية (y_1 , $V_1^2/2g$) وذلك لصعوبة قياسها بسبب اضطراب الجريان والتهوية العالية وكما يأتي:

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \dots \dots \dots (4)$$

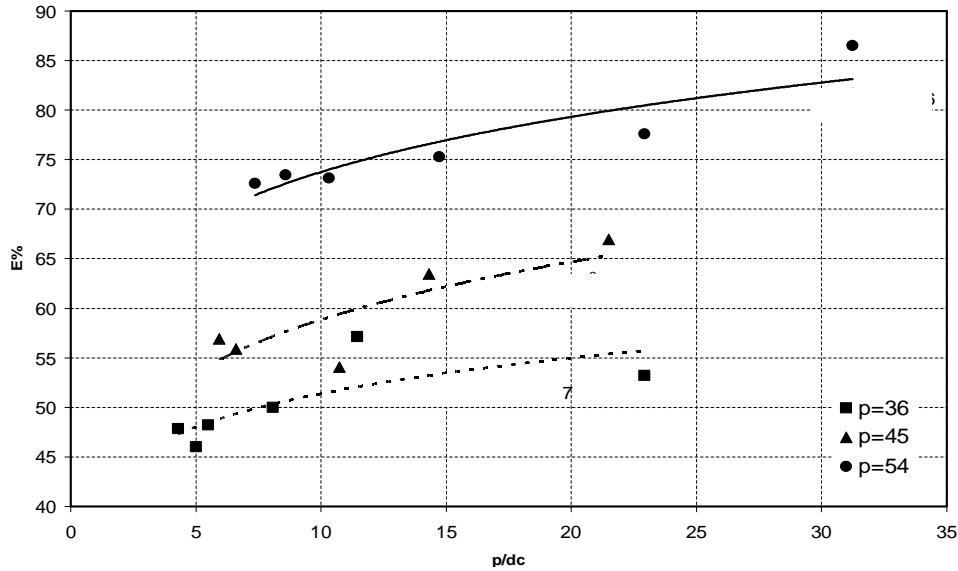
وبعد إيجاد قيم (E_1 , E_{max}) تحسب نسبة تبديد طاقة الجريان كما يأتي:

$$E\% = \left(\frac{E_{max} - E_1}{E_{max}}\right) * 100 \dots \dots \dots (5)$$

العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج:

حياوي: دراسة مختبرية لتبديد طاقة الجريان باستخدام الهدارات المدرجة

تم رسم العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$) ونسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج (P/d_c) في الشكل (4) ومن ملاحظة الشكل تبين أن نسبة تبديد طاقة الجريان تزداد عند زيادة نسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج ويعزى السبب إلى زيادة قيمة طاقة الجريان مقدم الهدار بزيادة ارتفاع الهدار والذي يؤدي إلى زيادة فرق الطاقة بين مقدم ومؤخر الهدار.

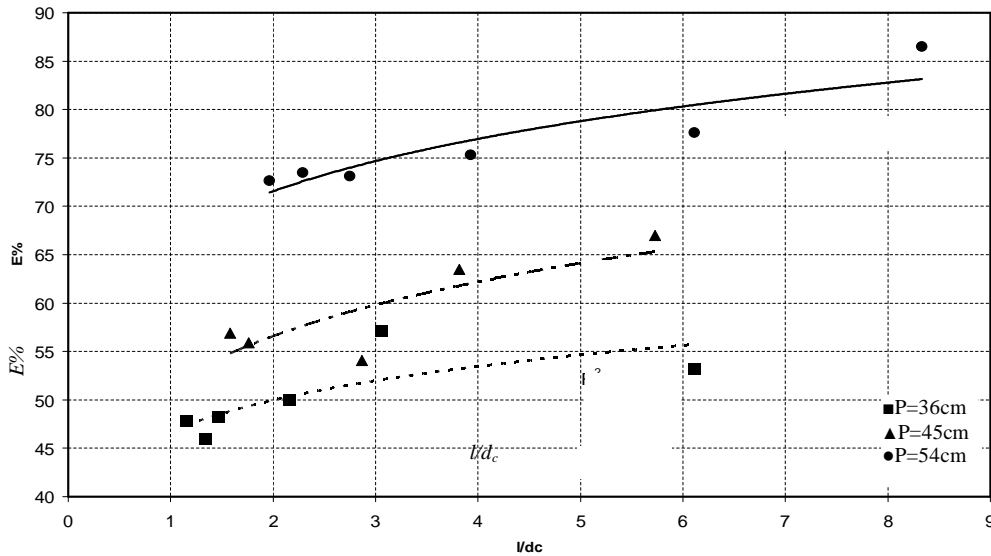


شكل (4) العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج

$$(n=15, h/l=1/4)$$

العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة طول الدرجة إلى عمق الماء الحرج:

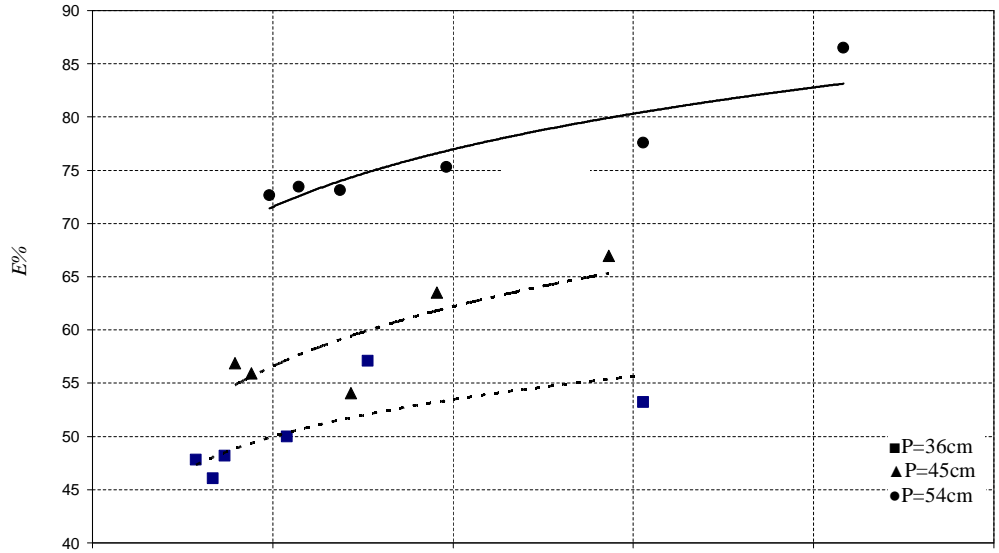
تم رسم العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$) ونسبة طول الدرجة إلى عمق الماء الحرج (l/d_c) في الشكل (5) ومن ملاحظة الشكل تبين أن نسبة تبديد طاقة الجريان تزداد عند زيادة نسبة طول الدرجة إلى عمق الماء الحرج، وذلك لأن طول الدرجة تؤدي إلى زيادة طول البثق وبالتالي يولد جريان متدرج والذي يحصل عنده أعلى تبديد لطاقة الجريان .



شكل (5) العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة طول الدرجة إلى عمق الماء الحرج

العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الدرجة إلى عمق الماء الحرج: $(n=15, h/l=1/4)$

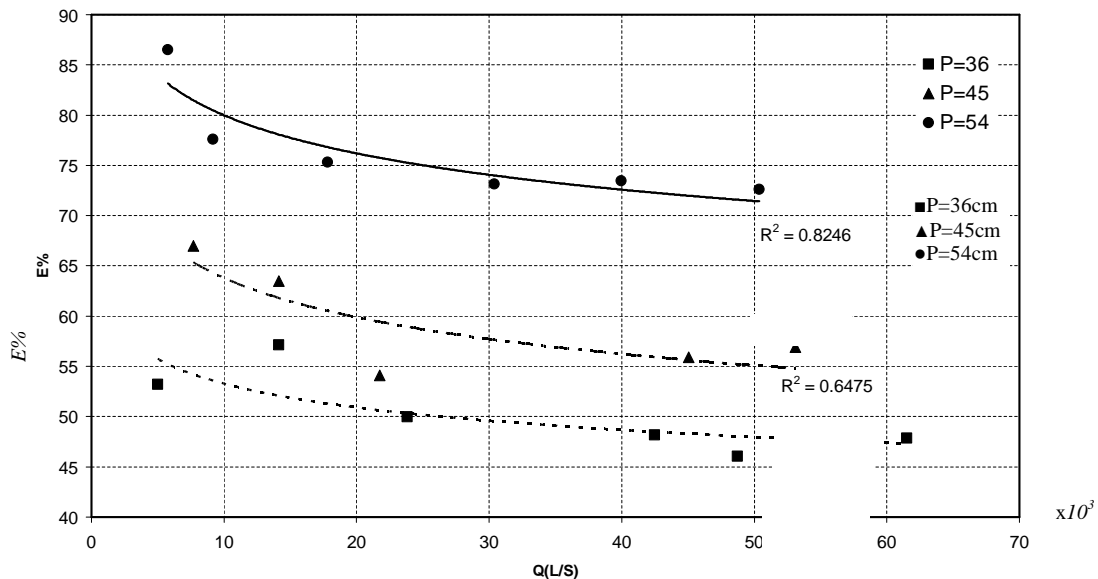
تم رسم العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$) ونسبة ارتفاع الدرجة الى عمق الماء الحرج (h/d_c) في الشكل (6) ومن ملاحظة الشكل تبين أن نسبة تبديد طاقة الجريان تزداد عند زيادة نسبة ارتفاع الدرجة الى عمق الماء الحرج ، وذلك لان تقليل عمق الماء الحرج بنقصان التصريف يحول الجريان من انسيابي (skimming flow) الى متدرج (nappe flow) والذي تزداد عنده طاقة الجريان المبددة.



شكل (6) العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان h/d_c ونسبة عمق الماء الحرج إلى ارتفاع الدرجة ($n=15, n/l=1/4$)

العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان والتصريف :

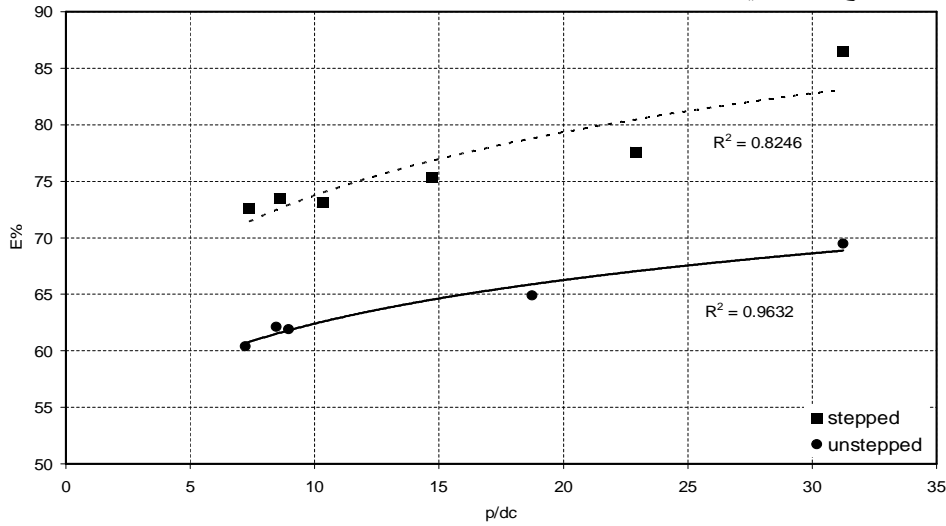
تم رسم العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ($E\%$) والتصريف (Q) في الشكل (7) ومن ملاحظة الشكل تبين أن نسبة تبديد طاقة الجريان تقل عند زيادة التصريف ، حيث أن زيادة التصريف تحول الجريان إلى انسيابي (skimming flow) والذي يقل عنده تأثير التدرج على الجريان وبذلك سيقبل تبديد الطاقة مع زيادة التصريف .



شكل (7) العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان والتصريف ($n=15, h/l=1/4$)

مقارنة نسبة تبديد طاقة الجريان في الهدرات المدرجة وغير المدرجة :

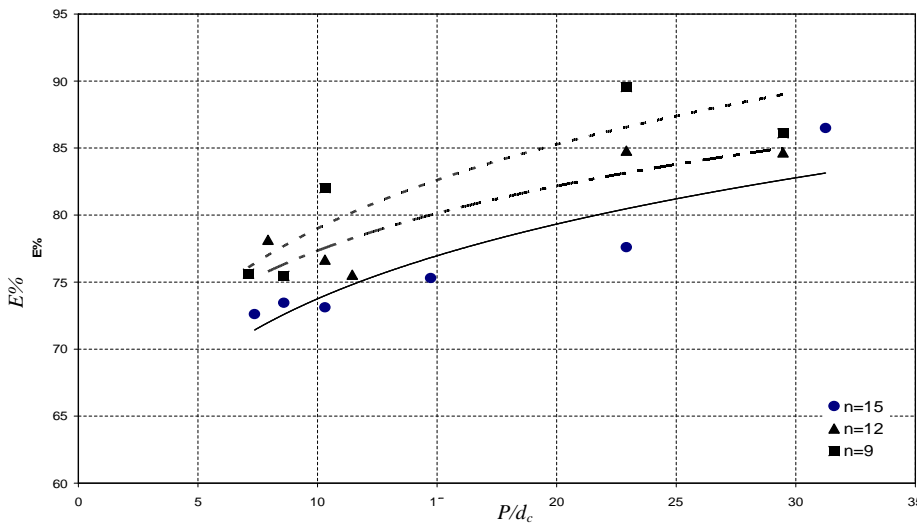
للتأكد من كفاءة الهدرات المدرجة في زيادة نسبة تبديد طاقة الجريان بالمقارنة مع الهدرات غير المدرجة رسمت العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان وكل من نسبة ارتفاع الهدار الى عمق الماء الحرج لهدارين احدهما مدرج والآخر غير مدرج بنفس الأبعاد كما في الشكل (8) ، ولوحظ بان الهدرات المدرجة تعطي أعلى نسبة لتبديد طاقة الجريان مقارنة مع الهدرات غير المدرجة وذلك لان الجريان فوق الهدار المدرج يتحول من انسيابي (skimming flow) الى متدرج (nappe flow) بتقليل التصريف وعندئذٍ تزداد الطاقة المبددة للجريان بينما يكون الجريان فوق الهدار غير المدرج من النوع الانسيابي فقط .



شكل (8) العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج
($P=54\text{cm}, n=15, l=14.4\text{ cm}$)

تأثير عدد الدرجات على العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الهدار الى عمق الماء الحرج:

من خلال دراسة تأثير عدد الدرجات على العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الهدار الى عمق الماء الحرج الموضحة في الشكل (9)، فإن نسبة تبديد طاقة الجريان تزداد كلما قل عدد الدرجات الى حد معين ضمن محددات الدراسة.



شكل (9) تأثير عدد الدرجات على العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان ونسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج
($P=54\text{cm}, h/l=1/4$)

استنباط علاقة رياضية للهدارات المدرجة :

من خلال معرفة العوامل المؤثرة على نسبة تبديد طاقة الجريان في الهدارات المدرجة عن طريق التحليل البعدي والتي تم التوصل إليها وباستخدام البرنامج الإحصائي (SPSS) تم التوصل إلى علاقة رياضية لحساب نسبة تبديد طاقة الجريان في الهدارات المدرجة باعتماد المتغيرات المؤثرة عليها ، وكما يأتي :

$$E\% = 41.28 (P/d_c)^{0.16} \dots\dots\dots(6)$$

$$E\% = 119.52 (n)^{-0.268} \dots\dots\dots(7)$$

$$E\% = 50.99 (l/d_c)^{0.18} \dots\dots\dots(8)$$

$$E\% = 62.12 (h/d_c)^{0.17} \dots\dots\dots(9)$$

$$E\% = 51.89 (h/l)^{-0.16} \dots\dots\dots(10)$$

ومن خلال كافة المتغيرات المؤثرة على نسبة تبديد طاقة الجريان فان العلاقة كما يلي:

$$E_{sp} \% = 206.64(P/d_c)^{5.67} (n)^{-6.3} (l/d_c)^{-34} (h/d_c)^{28.57} (h/l)^{-34.24} \dots\dots\dots(11)$$

بلغ معامل الارتباط للمعادلة العامة أعلاه (0.7).

إذ أن:

E_{sp} % : نسبة تبديد طاقة الجريان من البرنامج الإحصائي للهدارات المدرجة .

وللتأكد من دقة المعادلة السابقة أجريت مقارنة بين القيم المحسوبة من المعادلة (11) والمقاسة مختبرياً كما في الشكل (10) ، ويوضح الجدول (1) أقل وأعلى نسبة خطأ بالإضافة إلى معدل نسبة الخطأ بين القيم المقاسة مختبرياً والمحسوبة من العلاقة المستنبطة من الدراسة الحالية ودراسة الباحثين جانسون وباراني ، وقد حسبت نسبة الخطأ من قانون الخطأ القياسي ((القيم المحسوبة-القيم المقاسة)/القيم المقاسة)*(100). ويلاحظ من الجدول وجود نسب خطأ عالية عند مقارنة البحوث السابقة ويعزى ذلك إلى اختلاف محددات الدراسة من حيث الميول المستخدمة والتصاريح وأبعاد النماذج.

جدول (1) نسب الخطأ بين قيم نسبة تبديد طاقة الجريان المقاسة مختبرياً والمحسوبة من المعادلة (7)

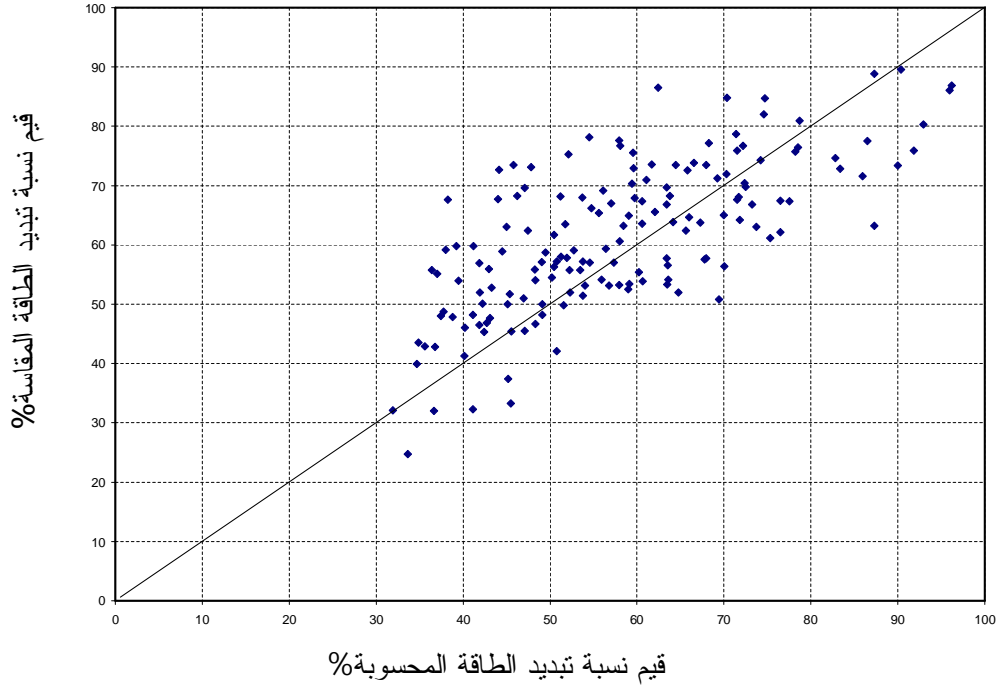
الدراسات السابقة			الدراسة الحالية	القيم المحسوبة
$E_{ba}\%$	$E_{chs}\%$	$E_{chn}\%$	$E_{sp}\%$	
%0.06	%2.7	%0.33	%0.13	أقل نسبة خطأ%
%99.8	%75.4	%82.8	%43.4	أعلى نسبة خطأ%
%48.5	%34.2	%33	%14.5	معدل نسبة الخطأ%

إذ أن:

$E_{chn}\%$:نسبة تبديد طاقة الجريان في حالة الجريان المترج المحسوبة من دراسة جانسون (Chanson,1994b)

$E_{chs}\%$:نسبة تبديد طاقة الجريان في حالة الجريان الانسيابي المحسوبة من دراسة جانسون (Chanson,1994b)

$E_{ba}\%$:نسبة تبديد طاقة الجريان المحسوبة من دراسة باراني وآخرين (Barani et.al.,2005)



شكل (10) العلاقة بين نسبة تبديد طاقة الجريان المقاسة مختبرياً والمحسوبة من الدراسة الحالية

الاستنتاجات:

- 1- تزداد نسبة تبديد طاقة الجريان للهدارات المدرجة بزيادة ارتفاع الهدار ونسبة ارتفاع الهدار إلى عمق الماء الحرج ونسبة طول الدرجة إلى عمق الماء الحرج ونسبة ارتفاع الدرجة إلى عمق الماء الحرج، حيث يعد الهدار الذي يبلغ ارتفاعه ($P=54\text{cm}$) أفضل النماذج من حيث تبديد طاقة الجريان .
- 2- تقل نسبة تبديد طاقة الجريان للهدارات المدرجة بزيادة ميل التدرج وعدد الدرجات (الى حد معين ضمن محددات الدراسة) والتصريف، حيث يعد الهدار الذي تبلغ عدد درجاته ($n=9$) وميل تدرجه ($h/l=1/4$) أفضل النماذج من حيث تبديد طاقة الجريان.
- 3- تعد الهدارات المدرجة أكثر كفاءة من الهدارات غير المدرجة في تبديد طاقة الجريان.

المصادر:

1. Barani, G.A., Rahnama, M.B., Sohrabipoor, N., 2005, "Investigation of Flow Energy Dissipation over Different Stepped Spillways", American. Journal of Applied Sciences,2(6),1101-1105.
2. British Standard Institution (BSI),1965,"Thin-plate Weirs and Venturi Flume in Methods of Measurements of Liquid Flow In Open Channel",Part4A,BSI,3681,London.
3. Chamani, M.R., Rajaratnam, N.,1999,"Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways" Journal of Hydraulic Engineering,ASCE,125(4),361-368.
4. Chanson, H., Toombes, L.,1997."Energy Dissipation in Stepped Waterway" Proce. XXVII IAHR, the27 th Congress,595-600.
5. Chanson, H.,1994a,"Hydraulics of Skimming Flows over Stepped Channels and Spillways", Journal of Hydraulic Researches, IAHR,32(3),445-460.

6. Chanson, H.,1994b,"Comparison of Energy Dissipation Between Nappe and Skimming Flow Regimes on Stepped Chutes", Journal of Hydraulic Researches, IAHR, 32 (2),213-218.
7. Chanson, H.,1998,"Review of Studies on Stepped Channel Flows", Workshop on Flow Characteristics around Hydraulic Structures and River Environment, Nihon Univ., Tokyo, Japan.
8. Kumar, D.N., Nayak, P.C., Pillai, C.R.S.,1994,"Model Investigations of Stepped Spillway", <http://www.citeseer.csail.mit.edu>.
9. Vennard, J.K., Street, R.L.,1982,"Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, Canada, 685.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل