

## الخصائص الهيدروليكية للهدارات نصف الدائرية حادة الحافة

عبدان إبراهيم غضبان، مدرس مساعد

قسم تقنيات الموارد المائية - المعهد التقني الحويجة

الخلاصة:

تم في هذا البحث دراسة الخواص الهيدروليكية للهدارات حادة الحافة ذات القطع نصف الدائري واستندت الدراسة إلى التحليل البعدي المعزز بالعمل المختبري. حيث بينت نتائج التحليل البعدي أن العوامل المؤثرة على التصريف فوق هذا النوع من الهدارات هي نسبة عمق الجريان فوق الهدار إلى نصف قطر فتحة الهدار ( $H/R$ ) وكذلك نسبة عمق الجريان فوق الهدار إلى ارتفاع حافة الهدار ( $H/P$ ). تم إجراء التجارب المختبرية على (16) نموذج من الهدارات ذات القطع نصف الدائري حيث تم تغيير نصف قطر القطع أربع مرات ( $R=5, 10, 15, 20$  cm) ولكل نصف قطر تم تغيير ارتفاع حافة الهدار أربع مرات ( $P=30, 25, 20, 15$  cm). أظهرت النتائج التأثير الكبير للمعامل ( $H/R$ ) على معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ )، بينما كان تأثير المعامل ( $H/P$ ) محدوداً. تم استخدام البرنامج الإحصائي (SPSS) لاستنباط معادلة وضعية لحساب التصريف فوق الهدارات ذات القطع نصف الدائري بالاعتماد على المعاملات اللابعدية والنتائج المختبرية وقد أظهرت نتائج المعادلة تطابق كبير مع النتائج المختبرية في إيجاد مقدار التصريف بمعرفة عمق الجريان فوق الهدار ( $H$ ) ونصف قطر القطع لفتحة الهدار ( $R$ ) وارتفاع حافة الهدار ( $P$ )، كما بينت النتائج التأثير الكبير لنصف قطر الفتحة على مقدار التصريف فوق الهدار وقلة تأثير ارتفاع حافة الهدار على هذا التصريف.

الكلمات الدالة: الهدارات ذات القطع نصف الدائري، معامل التصريف.

### *Hydraulic characteristics of semi-circular sharp crested weirs*

#### Abstract

In this research the hydraulic characteristics of sharp crested weirs with semi-circular shape were studied, the study was depended on the dimensional analysis which confirmed by experimental work. The dimensional analysis results demonstrate that the effective parameters on the discharge of flow over this type of weir are the ratio of water height above the weir crest to the radius of this weir ( $H/R$ ) and the ratio of water height above the weir crest to the height of the crest ( $H/P$ ). Experimental tests were carried out on (16) models of weirs with Semi-circle shape where the radius of cutting was change four times ( $R=5, 10, 15, 20$  cm) and for any radius the height of the crest was change four times ( $P= 30, 25, 20, 15$  cm). The results show a great influence of the parameter ( $H/R$ ) on flow parameter ( $Q^2/gH^5$ ) while the effect of the parameter ( $H/P$ ) is limited. Depending on non-dimensional parameters and experimental results, the statistics program (SPSS) were used to create empirical equation for measuring the discharge over the sharp crested weirs with semi-circular shape. The results of the equation show a very good agreement with the experimental result for determine the discharge with knowing the depth of water over the weir ( $H$ ), radius of cutting of the weir ( $R$ ) and height of the crest ( $P$ ). Also the equation shows a great influence of the radius ( $R$ ) and limited influence of the height ( $P$ ) on the discharge over this type of weirs.

**Keywords:- Semi-circular weirs, Discharge coefficient.**

		<u>قائمة الرموز</u>	
$\theta$	زاوية التلثة للهدار ذو التلثة المثلثة	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	التصريف فوق الهدار
$P$ (m)	ارتفاع قمة الهدار عن قاع القناة	$Q^2/gH^5$	معامل الجريان للهدار
$R$ (m)	نصف قطر التلثة نصف الدائرية	$B$ (m)	عرض الهدار المستطيل
$\mu$ (m <sup>2</sup> /s)	اللزوجة الكينماتيكية للماء	$H$ (m)	عمق الجريان مقدم الهدار
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	الكثافة الكتلية للماء	$V_o$ (m/s)	سرعة الاقتراب للجريان
$Re$	رقم رينولدز	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	التعجيل الأرضي

المقدمة

3. الهدارات ذات التلثة المثلثة (V-notch weirs)

4. الهدارات المقطوعة بأشكال أخرى كشبه المنحرف (trapezoidal) والدرج (stepped) [5].

تم في البحوث التي أجريت من قبل الباحثين إيجاد العديد من المعادلات النظرية والتجريبية للعديد من الأنواع التي تم ذكرها، حيث وضع (Kandaswmy and Rouse) [6] معادلة حساب التصريف للهدارات المستطيلة

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d B H^{1.5} \dots\dots\dots(1)$$

أما (Francis) [7] فقد وضع معادلته للهدارات المستطيلة بالصيغة الآتية:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d B \left( \left( h + \frac{V_o^2}{2g} \right)^{1.5} - \left( \frac{V_a^2}{2g} \right)^{1.5} \right) \dots\dots\dots(2)$$

أما للمقطع المستطيل المقلص فقد وضع (Francis) معادلة الجريان بالصيغة [8]:

$$Q = 3.33 \left( B - \frac{nH}{10} \right) H^{1.5} \dots\dots\dots(3)$$

وللهدارات ذات التلثة المثلثة وضع صيغتها الآتية [9,10]:

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} H^{2.5} \dots\dots\dots(4)$$

تعتبر الهدارات (weirs) إحدى أقدم المنشآت الهيدروليكية التي أنشأها الإنسان على القنوات أو الأنهار ، ففي الآثار القديمة وجدت بقايا لهذه المنشآت في العديد من الحضارات التي سكنت الأرض [1] ، ثم طورت هذه المنشآت للحصول على منشآت أقل كلفة وأكثر دقة وسهولة في القياس كما طورت معادلات الجريان للهدارات لتكون أكثر سهولة وبيان للواقع . وعموماً فللهدارات العديد من الاستخدامات أهمها ، قياس التصريف للقنوات المفتوحة (open channels) ، وتوزيع المياه في القنوات الرئيسية والفرعية، وكمشغلات لطاقة الجريان (energy dissipaters) لتلافي أضرارها على المنشآت المائية الأخرى، ورفع منسوب الماء في قنوات الري إضافة إلى العديد من الاستخدامات الأخرى [2]. تصنف الهدارات اعتماداً على شكل القمة إلى هدارات ذات الحافة الحادة (sharp crested) وذات الحافة الاوجية (ogee) ، وذات الحافة العريضة (broad crested) . إن الهدارات ذات الحافة الحادة هي الأكثر استخداماً [3,4] ، ولها عدة أشكال أهمها:

1. الهدارات المستطيلة (rectangular sharp crested weirs)

60

2. الهدارات المستطيلة ذات المقطع المقلص (contraction sharp crested weirs)

$$\phi_2 \left( \frac{Q^2}{gH^5}, \frac{H}{P}, \frac{H}{R}, \frac{H^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} \rho}{\mu} \right) \dots\dots\dots(6)$$

من المعادلة (6) يظهر الحد  $\frac{H^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} \rho}{\mu}$  ، يمثل

رقم رينولدز Reynolds Number ، أما الحد

$\frac{Q^2}{gH^5}$  ، فيمثل معامل الجريان ، عليه تصبح

المعادلة اللابعدية بالصيغة :

$$\frac{Q^2}{gH^5} = \phi_3 \left( \frac{H}{P}, \frac{H}{R}, \text{Re} \right) \dots\dots\dots(7)$$

وبما أن رقم رينولدز للجريان فوق الهدارات يمكن إهماله<sup>[12,13]</sup>، لذا تكون الصيغة النهائية للمعادلة اللابعدية بالصورة الآتية :

$$\frac{Q^2}{gH^5} = \phi_4 \left( \frac{H}{P}, \frac{H}{R} \right) \dots\dots\dots(8)$$

### الجزء العملي

تم إجراء التجارب في مختبر الهيدروليك في قسم تقنيات الموارد المائية في المعهد التقني الحويجة. استخدمت قناة مختبرية زجاجية ذات مقطع بأبعاد ( 50 cm × 50 cm ) وطول ( 10 m )، محمولة على هيكل حديدي، شكل (2). تزود القناة بالماء بمضخة ذات تصريف أقصى مقداره ( 50 L/s ) ويتم التحكم بالتصريف عن طريق صمام يدوي . تم قياس التصريف بطريقتين لتوخي الدقة في الحسابات حيث تم استخدام الهدار المثبت على القناة وهو عبارة عن هدار ذو ثلثة مثلثة ( V- notch ) بزاوية ( 90° ) بعد أن تم معايرته لضمان دقة حساب التصريف، شكل (3)، وتم أيضا استخدام العديد من المعدات المساعدة لإجراء القياسات مثل المقياس المستدق والمقياس الخطاف وشريط قياس وساعة

إضافة إلى العديد من الدراسات العملية والنظرية التي وضعت بصيغ مختلفة للجريان فوق الهدارات. الهدف من هذا البحث هو دراسة الجريان فوق الهدارات نصف الدائرية ذات الحافة الحادة وإيجاد العلاقة بين المتغيرات المختلفة لهذا الجريان.

### التحليل البعدي

تعتبر طريقة التحليل البعدي من الطرق الرياضية المستخدمة في حل الكثير من المسائل المعقدة منها مسائل ميكانيك الموائع فتقنية التحليل البعدي المعزز بالعمل المختبري هي الطريقة الأكثر شيوعاً لحل مثل هذه المسائل<sup>[11,12]</sup>، وبما أن الجريان فوق الهدارات من أنواع الجريان المعقد فقد تم في هذا البحث استخدام هذه التقنية لإيجاد العلاقة بين المتغيرات التي تؤثر على خصائص الجريان فوق الهدارات نصف الدائرية حادة الحافة. والشكل (1) يبين نموذج لهذا الهدار. تم استخدام المتغيرات التي تؤثر على الجريان فوق هذا النوع من الهدارات وهي ثلاث مجموعات من المتغيرات، الأولى هي الخصائص الهندسية والتي تشمل ارتفاع قمة الهدار (P) ونصف قطر الثلثة للهدار ( R ) والثانية هي خصائص الجريان والتي تشمل التصريف (Q) وعمق الجريان مقدم الهدار (H) والثالثة هي خصائص المائع وهي اللزوجة الكينماتيكية للماء (μ)، والكثافة الكتلية للماء (ρ) و التعجيل الأرضي (g). وعليه فإن قيمة وحالة الجريان فوق الهدارات يمكن أن تعتمد على المتغيرات السابقة والتي يمكن صياغتها بالمعادلة :

$$Q = \phi_1 (H, R, P, \mu, \rho, g) \dots\dots\dots(5)$$

وباعتماد أسلوب التحليل البعدي واخذ المتغيرات (μ,g,H) كمتغيرات معتمدة تكون المعادلة بالصيغة الآتية :

ذات القطع نصف الدائري وهي معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) ونسبة عمق الجريان فوق الهدار إلى نصف قطر الفتحة للهدار ( $H/R$ ) ونسبة عمق الجريان إلى ارتفاع الهدار ( $H/P$ ). واعتماداً على النتائج المستحصلة من التجارب المختبرية والمبينة في الجداول (1-4)، تم رسم العلاقة بين معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) ونسبة عمق الجريان إلى نصف قطر الفتحة ( $H/R$ ) ولأربع ارتفاعات لحدافة الهدار ( $P=15,20,25,30$  cm). والأشكال (4-7) تبين هذه العلاقة للهدارات ذات الفتحات بنصف قطر ( $R=5,10,15,20$  cm) على التوالي ويلاحظ من هذه الأشكال ما يلي:-

1- معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) يقل مع زيادة المعامل ( $H/R$ ) لجميع النماذج ولكافة الارتفاعات.

2- في الشكل (4) عندما ( $R=5$  cm) يلاحظ أن معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) يزداد مع تناقص ارتفاع الهدار ( $P$ ) عند نسبة ( $H/R$ ) ثابتة، فمثلاً عند نسبة ( $H/R=0.6$ ) يلاحظ أن مقدار معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) هو (2.8) تقريباً عندما ( $P=30$  cm) في حين قيمته تساوي (6.5) تقريباً عندما ( $P=15$  cm).

3- في الشكل (5) عندما ( $R$ ) تساوي (10 cm) يلاحظ انه لا يوجد تأثير لارتفاع الهدار ( $P$ ) على معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) حيث يلاحظ أن جميع المنحنيات تقريباً متطابقة.

4- في الشكل (6) عندما ( $R=15$  cm) يلاحظ أن العملية أصبحت عكس ما ذكر في الفقرة (2) أعلاه حيث يلاحظ أن معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) يزداد مع زيادة ( $P$ ) عندما تكون نسبة ( $H/R$ ) ثابتة في حين يلاحظ أنها تكون مقاربة عندما تصبح قيمة ( $H/R$ ) قريبة من (1).

توقيت ودلو معلوم الحجم. أما نماذج الهدارات المستخدمة في العمل فقد تم تصنيعها من الحديد المقوى بسمك (3 mm) وتم اختيار أربع نماذج قطعت الثلمة لها بشكل نصف دائري ذو حافة حادة بأربعة أقطار مختلفة (5 cm و 10 cm و 15 cm و 20 cm) وتم تغيير ارتفاع الهدار ( $P$ ) لكل نموذج من الهدارات أربع مرات (15, 20, 25, 30 cm) ليصبح عدد النماذج المستخدمة (16) نموذج. تم طلاء النماذج بالطلاء الدهني للحفاظ على نعومة سطحها وضمان عدم صدئها. تم إجراء القياسات لكل نموذج باستخدام الخطوات الآتية:

1. تثبيت النموذج في القناة.
2. اختيار التصريف المناسب ابتداءً من اقل تصريف.
3. قياس التصريف باستخدام الهدار المثلث المثبت في القناة.
4. اخذ قراءة ارتفاع الجريان مقدم الهدار ( $H$ ).
5. تغيير التصريف وإعادة الخطوات من (3-4) لأخذ القراءة الجديدة للنموذج.
6. تعاد الخطوات (3-5) حتى اكبر تصريف يمكن قياسه للنموذج بعدها يتم تغيير النموذج وإعادة الخطوات من (1-5) ليصبح عدد التجارب التي تم إجرائها على النماذج المستخدمة في الدراسة (109) تجربة.

### النتائج والمناقشة

تم في التحليل البعدي استنباط الدالة اللابعدية رقم (8) والتي تربط معاملات الجريان فوق الهدارات

من هذه المعادلة يلاحظ أن المعامل (H/P) ذو تأثير قليل جداً على التصريف المار فوق الهدار ذو القطع نصف الدائري حيث ظهر أن هذا المعامل مرفوع للأس (0.0093) وبذلك فإن أي قيمة لهذا المعامل ستكون مرفوعة لهذا الأس ستكون قريبة من (1) لأي ارتفاع للهدار وللتحقق من هذه المعادلة تم تطبيق بقية النتائج المختبرية التي لم تستخدم ضمن العينة العشوائية لحساب التصريف. الأشكال (12،13) تمثل العلاقة بين التصريف المقاس من التجارب والتصريف المقاس من التجارب لعينة الاختبار والتصريف المحسوب من المعادلة (9) حيث تظهر مدى التقارب بين قيم التصريف المار في الحالتين إذ لم يتجاوز أعلى فرق بين القيمتين 6.4% في حين تراوحت معظم الفروقات بين القيمتين اقل من 1%.

#### الاستنتاجات

- 1- إن معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) يتأثر بشكل كبير بمعامل نصف قطر القطع (R) حيث يقل مع زيادة المعامل (H/R) لجميع النماذج .
- 2- تراوحت معظم قيم معامل الجريان ضمن حدود (1-6) مع زيادة في بعض القراءات.
- 3- تظهر النتائج أن تأثير المعامل (H/P) على معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) كان قليلاً .
- 4- تم استنباط صيغة وضعية لحساب التصريف للهدارات ذات المقطع نصف الدائري وتظهر المعادلة أن التصريف المار يتأثر بشكل كبير بالمعامل (H/R) مع تأثير قليل جداً للمعامل (H/P) .

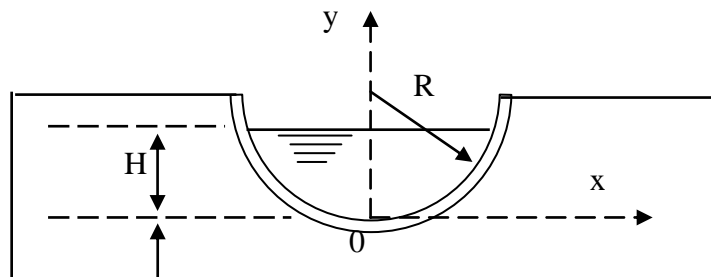
5- أظهرت النتائج تطابق قيم التصريف المقاسة مختبرياً وقيم التصريف المحسوبة من المعادلة الوضعية.

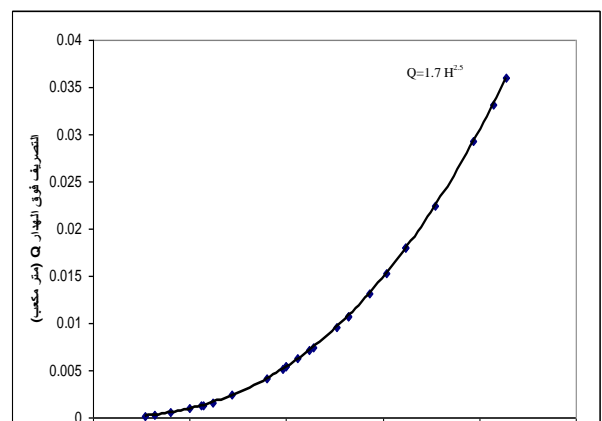
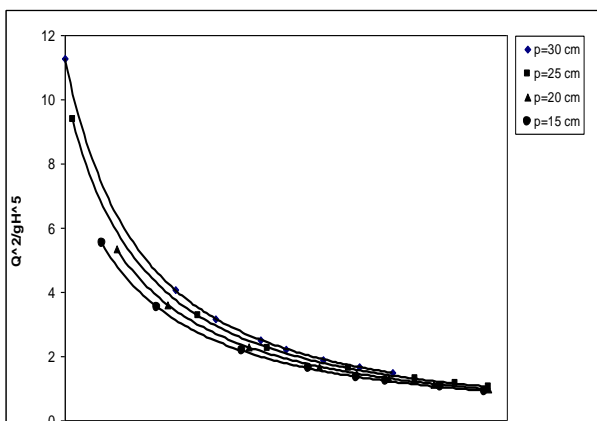
5- يلاحظ بشكل عام ولنسبة ثابتة للمعامل (H/R) ولكل ارتفاع للهدار (P) أن قيمة معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) تقل مع زيادة نصف قطر الفتحة (R) فمثلاً يلاحظ عندما (P=30 cm) و قيمة (H/R=0.6) فإن قيمة معامل الجريان تكون (3) تقريباً عندما (R=5 cm) أما عند (R=20 cm) تصبح تقريباً (1.7) وهكذا لبقية القيم.

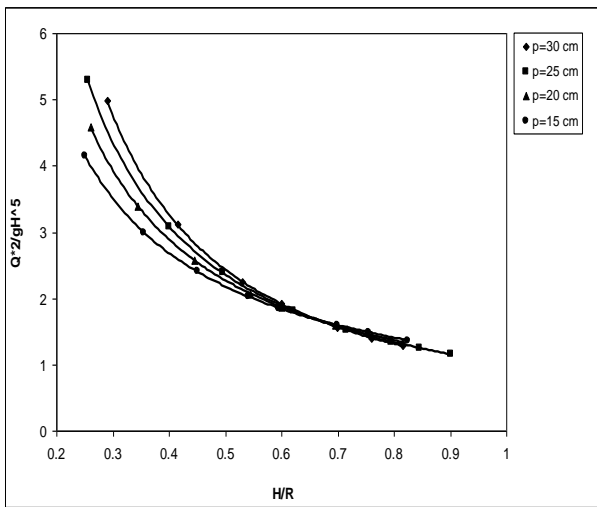
كذلك تم رسم العلاقة بين معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) ونسبة عمق الجريان إلى ارتفاع الهدار (H/P) ولأربع أنصاف أقطار لفتحة الهدار. والأشكال (8-11) تبين هذه العلاقة للهدارات ذات ارتفاع (15،20،25،30) على التوالي، من هذه الأشكال يلاحظ بشكل عام أن معامل الجريان يقل مع زيادة المعامل (H/P) إلا أن تغيير ارتفاع حافة الهدار ولكافة قيم نصف القطر للفتحة لم يكن تأثيره ملحوظ على قيمة معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ). فمثلاً عندما (R=20 cm) ولنسبة (H/P) تساوي (0.5) فإن قيمة معامل الجريان تساوي (2.5) عندما (P=30 cm) ، وتساوي (2.5) عندما (P=25 cm) ، شكل (9) وتساوي (2.3) عندما (P=20 cm) ، شكل (10)، وتساوي (3) تقريباً عندما (P=15 cm) شكل (11). إضافة إلى ذلك استخدمت عينة عشوائية من النتائج المختبرية للتجارب في البرنامج الإحصائي (SPSS) للحصول على علاقة رياضية تربط بين متغيرات ومعاملات الجريان والتي ظهرت كما في المعادلة (9) :

$$Q = \sqrt{g} H^{2.5} \frac{1}{\left(\frac{H}{R}\right)^{0.612}} \frac{1}{\left(\frac{H}{P}\right)^{0.0093}} \dots (9)$$

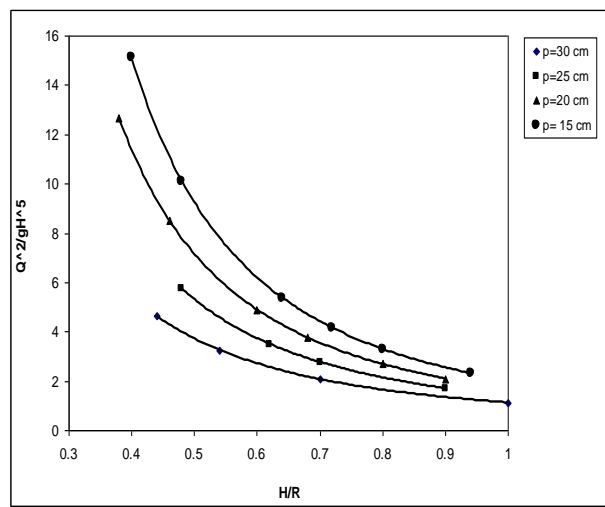
- Mechanics”, Standard Book House, Nai Savak Delhi , 1973 .
- 8- Maupicel . Albertonson , Jmes . R .B and Daryl, B. S., “Fluid Mechanics for Engineering”, Englewood Cliffs N. J., Prentice – Hall, 1 nc, USA, 1960.
- 9- مؤيد سعدالله خليل ، محمد رمضان خلف "تجارب في الهيدروليكا"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل 1978 .
- 10- P. Novak, A. Moffat, C. Nalluri and R. Narayanan, “Hydraulic Structures”, Third Edition Dept. of Civil Engineering, University of Manchester Institute of Science and Technology , U . K ,2001 .
- 11- Rao, S. S., and Shulka M. K. , “Characteristics of Circular Crested Weirs”, Proc. ASCE , No. Hyd. 11, Nov , 1971 .
- 12- Vennard J . U . and street , R .L., “Elementary of Fluid Mechanics”, John Wiley & sons. , Singapore, 1997.
- 13- Kindsvater, C. E. and Carter, R . W., “Discharge Characteristic Rectangular Thin Plate Weirs”, Proc . ASCE, Journal of Hydraulic Division, Vol. 83, No. Hyd 6 , Dec ., 1959 .
- 1- Al-Tikrity R. A., “Discharge Coefficient for Semi – Circular Crested Rectangular Weirs”, M. SC. Thesis, Civil Eng. Dept., Tikrit University, (2000).
- 2- Leliavsky, S., “Irrigation Engineering Siphons Weirs and Locks”, Vol. II , Chapman and Hall, London , 1957 .
- 3- Jorge D . A, Bruce L.R., “Flow Structure at Different Stages in Amender –Bend with Ben way Weirs” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, August ,2008.
- 4- Ackers , P. Whit , W.R., Perkins, J .A .& Harrison A . J . N . , “Weirs and Flumes for Measurement”, John Wiley and Sons , London , 1978 .
- 5- Allen G. S. and Daltan S. H., “Weirs for Open Channel Flow Measurement”, Journal of Hydraulic Engineering , ASCE , August 2008 .
- 6- Kandaswamy , P . K . and Rouse , H, “Characteristics of Flow Over Terminal Weirs and Sills” , Proc. ASCE Journal of the Hydraulics Division, Vol. 83, Hyd4 , Aug . , 1957
- 7- Modi , P . N , “Flow Over Notches and Weirs Hydraulics and Fluid



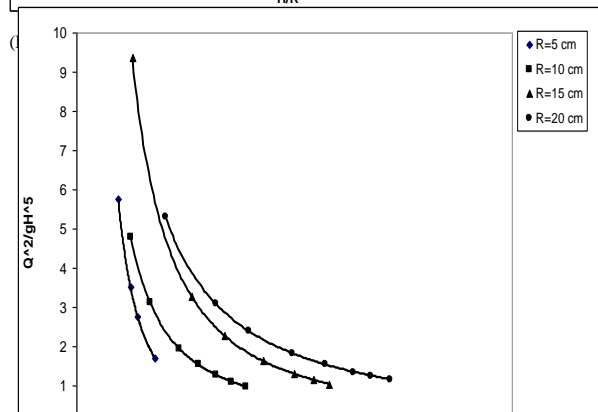
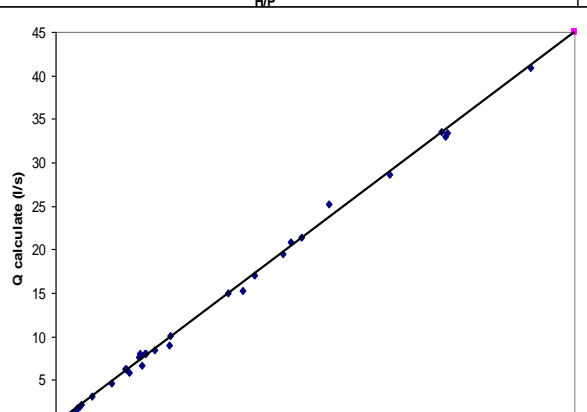
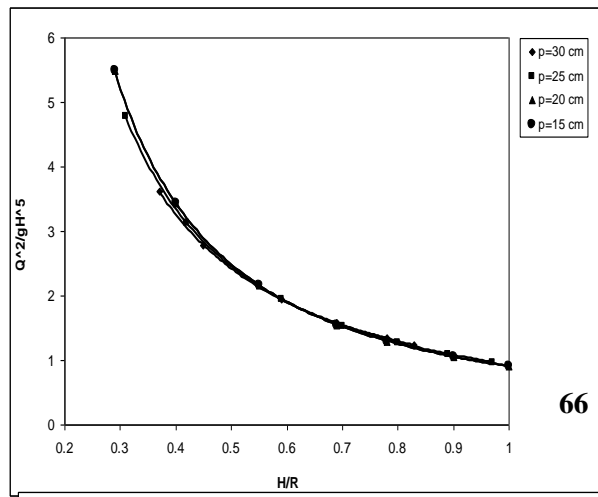
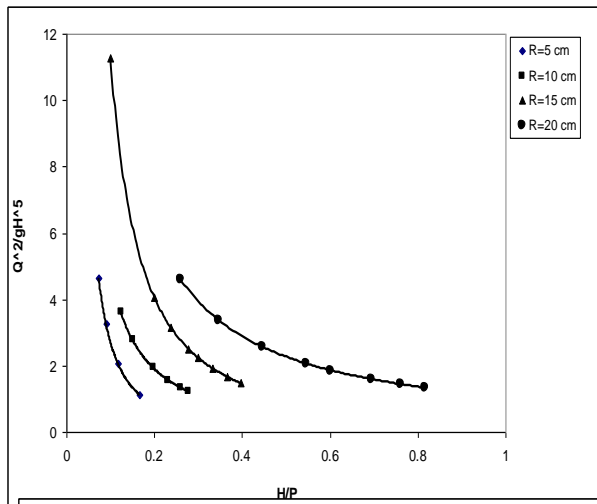




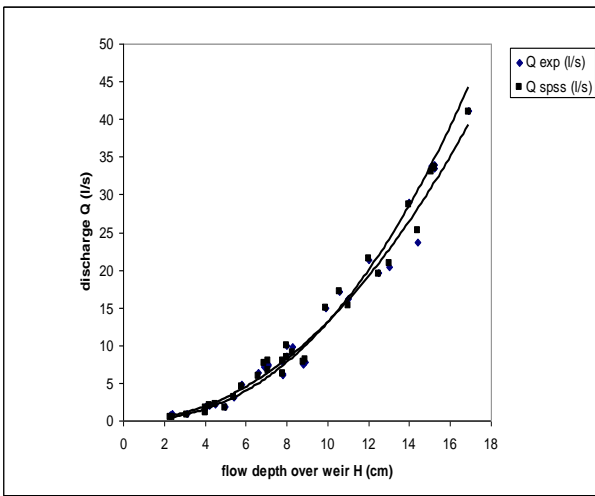
شكل (7) تغير قيمة معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) مع المعامل ( $H/R$ ) عندما ( $R=20$  cm)



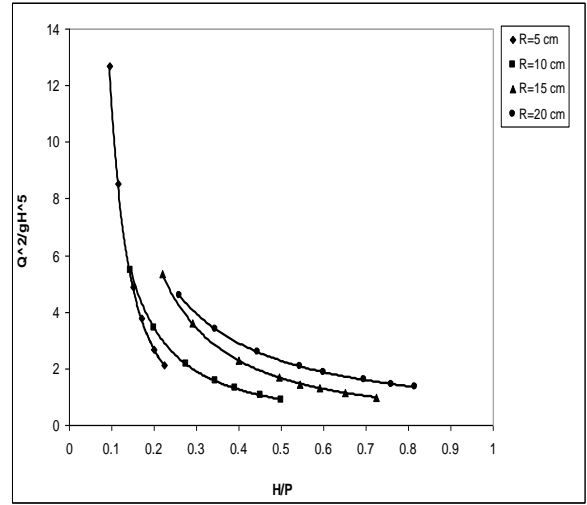
شكل (4) تغير قيمة معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) مع المعامل ( $H/R$ ) عندما ( $R=5$  cm)



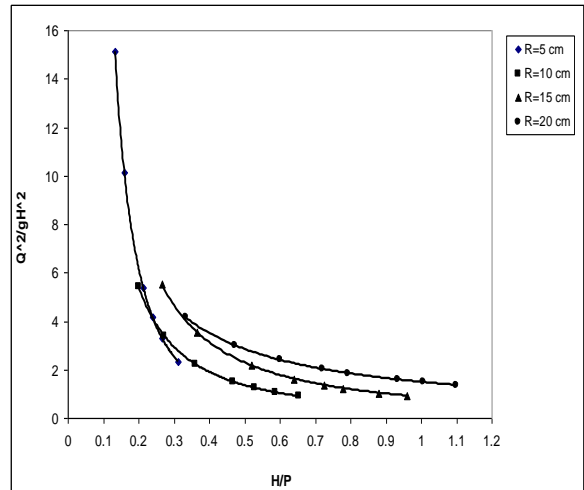




شكل (13) العلاقة بين عمق الجريان H والتصريف ويبين التقارب في القيم بين التصريف المحسوب من المعادلة والتصريف المحسوب من التجارب



شكل (10) تغير قيمة معامل الجريان ( $Q^2/gH^5$ ) مع المعامل (H/P) عندما (P=20 cm)



شكل (11) تغير قيمة معامل الجريان ( $Q^2/gH^2$ ) مع المعامل (H/P) عندما (P=15 cm)

جدول (2) نتائج التجارب للهدار حاد الحافة ذو القطع نصف الدائري  
بنصف قطر (10cm)

P (cm)	H (cm)	H (v-notch) cm	Q (L/s)	$Q^2/gH^5$	H/R	H/P
30	3.7	6.1	1.568347	3.615821	0.37	0.123333
	4.5	7	2.24535	2.785073	0.45	0.15
	5.9	8.6	3.689273	1.940674	0.59	0.196667
	6.9	9.6	4.915787	1.574967	0.69	0.23
	7.8	10.5	6.15464	1.337406	0.78	0.26
	8.3	11	6.897137	1.231057	0.83	0.276667
25	3.1	5.4	1.158337	4.777413	0.31	0.124
	4.2	6.7	2.00215	3.126638	0.42	0.168
	5.9	8.6	3.693828	1.945469	0.59	0.236
	7	9.7	5.026527	1.532416	0.7	0.28
	8	10.7	6.393954	1.271804	0.8	0.32
	8.9	11.6	7.748223	1.095936	0.89	0.356
20	2.9	5.2	1.050733	5.486888	0.29	0.145
	4	6.5	1.857572	3.434965	0.4	0.2
	5.5	8.2	3.265806	2.160222	0.55	0.275
	6.9	9.6	4.880773	1.552611	0.69	0.345
	7.8	10.5	6.064975	1.298721	0.78	0.39
	9	11.6	7.815246	1.054396	0.9	0.45
15	3	5.4	1.138463	5.437039	0.3	0.2
	4.1	6.7	1.962238	3.387779	0.41	0.273333
	5.4	8.1	3.171084	2.23243	0.54	0.36
	7	9.7	4.984583	1.506949	0.7	0.466667
	7.9	10.5	6.154269	1.254725	0.79	0.526667
	8.8	11.4	7.427392	1.065591	0.88	0.586667
9.8	12.3	8.95985	0.90532	0.98	0.653333	

جدول (1) نتائج التجارب للهدار حاد الحافة ذو القطع نصف الدائري  
بنصف قطر (5 cm)

P (cm)	H (cm)	H (v-notch) cm	Q (L/s)	$Q^2/gH^5$	H/R	H/P
30	2.2	3.8	0.484153	4.636422	0.44	0.073333
	2.7	4.4	0.676694	3.253097	0.54	0.09
	3.5	5.2	1.034315	2.076329	0.7	0.116667
	5	6.5	1.853113	1.120172	1	0.166667
	2.4	4.3	0.670266	5.751338	0.48	0.096
25	3.1	5.1	0.991863	3.502886	0.62	0.124
	3.5	5.5	1.194431	2.768935	0.7	0.14
	4.5	6.4	1.755068	1.701595	0.9	0.18
20	1.9	4	0.555097	12.68531	0.38	0.095
	2.3	4.5	0.733352	8.517586	0.46	0.115
	3	5.2	1.080214	4.894906	0.6	0.15
	3.4	5.7	1.296408	3.770678	0.68	0.17
	4	6.2	1.642936	2.687027	0.8	0.2
	4.5	6.7	1.950655	2.101983	0.9	0.225
15	2	4.4	0.688729	15.11048	0.4	0.133333
	2.4	4.9	0.889342	10.12539	0.48	0.16
	3.2	5.7	1.331206	5.383584	0.64	0.213333
	3.6	6.1	1.57024	4.15672	0.72	0.24
	4	6.5	1.820215	3.298196	0.8	0.266667
	4.7	7.1	2.282038	2.314661	0.94	0.313333

جدول (4) نتائج التجارب للهدار حاد الحافة ذو القطع نصف الدائري  
بنصف قطر (20cm)

P (cm)	H (cm)	H (v-notch) cm	Q (L/s)	Q <sup>2</sup> /gH <sup>5</sup>	H/R	H/P
30	5.8	10.2	5.66466	4.983548	0.29	0.193333
	8.3	13.3	10.96179	3.10959	0.415	0.276667
	10.6	15.9	17.20097	2.253759	0.53	0.353333
	12	17.4	21.6168	1.914289	0.6	0.4
	14	19.5	28.7149	1.562807	0.7	0.466667
	15.2	20.8	33.41145	1.402503	0.76	0.506667
	16.3	21.8	38.00048	1.279296	0.815	0.543333
	25	5.1	9.1	4.235227	5.299484	0.255
8		12.8	9.952995	3.081688	0.4	0.32
9.9		15	14.91404	2.384216	0.495	0.396
12.4		17.8	22.86569	1.817989	0.62	0.496
14.3		19.9	29.97033	1.531207	0.715	0.572
15.9		21.5	36.65311	1.347619	0.795	0.636
16.9		22.5	41.15148	1.252185	0.845	0.676
18		23.7	46.38323	1.160621	0.9	0.72
20	5.2	9	4.139481	4.59416	0.26	0.26
	6.9	11.2	7.208933	3.387096	0.345	0.345
	8.9	13.7	11.87583	2.574593	0.445	0.445
	10.9	16.1	17.67344	2.069381	0.545	0.545
	12	17.3	21.34079	1.865716	0.6	0.6
	13.9	19.5	28.47087	1.592423	0.695	0.695
	15.2	20.9	33.9275	1.446161	0.76	0.76
	16.3	22.1	38.91011	1.341275	0.815	0.815
15	5	9	3.569193	4.155478	0.25	0.333333
	7.1	11.2	7.284005	2.997641	0.355	0.473333
	9	13.7	11.7997	2.403589	0.45	0.6
	10.8	16.1	17.09816	2.0282	0.54	0.72
	11.9	17.3	20.82766	1.853008	0.595	0.793333
	14	19.5	28.98836	1.592715	0.7	0.933333
	15.1	20.9	33.81023	1.484371	0.755	1.006667
	16.5	22.1	40.49328	1.366712	0.825	1.1

جدول (3) نتائج التجارب للهدار حاد الحافة ذو القطع نصف الدائري  
بنصف قطر (15cm)

P (cm)	H (cm)	H (v-notch) cm	Q (L/s)	Q <sup>2</sup> /gH <sup>5</sup>	H/R	H/P
30	3	6.2	1.640491	11.28944	0.2	0.1
	6	10.1	5.56325	4.057251	0.4	0.2
	7.1	11.4	7.483912	3.164438	0.473333	0.236667
	8.3	12.7	9.854021	2.512855	0.553333	0.276667
	9	13.5	11.36491	2.229722	0.6	0.3
	10	14.5	13.68301	1.90851	0.666667	0.333333
	11	15.5	16.1848	1.657991	0.733333	0.366667
25	11.9	16.4	18.59004	1.47624	0.793333	0.396667
	3.2	6.2	1.755662	9.364033	0.213333	0.128
	6.6	10.4	6.341264	3.273128	0.44	0.264
	8.5	12.4	9.933311	2.266859	0.566667	0.34
	10.7	14.6	14.94279	1.622839	0.713333	0.428
	12.5	16.3	19.68898	1.294874	0.833333	0.5
	13.6	17.3	22.86667	1.145624	0.906667	0.544
20	14.5	18.1	25.61956	1.043841	0.966667	0.58
	4.4	7.8	2.936956	5.331661	0.293333	0.22
	5.8	9.5	4.812041	3.596249	0.386667	0.29
	8	12	8.549628	2.273922	0.533333	0.4
	9.9	14	12.51276	1.678269	0.66	0.495
	10.9	15	14.86096	1.463161	0.726667	0.545
	11.8	15.9	17.12495	1.30671	0.786667	0.59
15	13	17	20.3613	1.138217	0.866667	0.65
	14.5	18.4	24.74956	0.97415	0.966667	0.725
	4	7.2	2.352844	5.510832	0.266667	0.266667
	5.5	9	4.17652	3.533024	0.366667	0.366667
	7.8	11.6	7.838545	2.169346	0.52	0.52
	9.6	13.5	11.39551	1.623463	0.64	0.64
	10.9	14.8	14.32595	1.359708	0.726667	0.726667
	11.7	15.6	16.27616	1.231701	0.78	0.78
	13.2	17	20.2281	1.040811	0.88	0.88
	14.4	18.1	23.66193	0.921762	0.96	0.96