

# Hydraulic Characteristics of Flow over Triangular Broad Crested Weirs

**Dr. Raad Hoobi Irzooki** 

Environmental Engineering Department, Tikrit University  
Email: dr.raadhoobi@gmail.com

**Mohammad Faiq Yass**

Environmental Engineering Department, Tikrit University

## Abstract

In the present work, the hydraulic characteristics of flow over triangular broad crested weirs with triangular front or back face have been experimentally studied. The main objective of this research is to obtain empirical equation to estimate the value of discharge coefficient ( $C_d$ ) for this kind of weir and determine the factors that affect on it. For this purpose 18 models were constructed with different dimensions made of plexiglass and were tested in a laboratory flume of 6m length, 30cm width and 40cm height. These models divided into two groups, each group consists of 9 models. In the first group 108 experiments were conducted by changing the upper face angle of the weir three times ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ), the angle of the triangular front or back face ( $\alpha$ ) is also changed three times ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ), for each model six different discharges were passed. In the second group 54 experiments were carried out on models with a straight face in the front and back ( $\alpha=180^\circ$ ) with changing the upper face angle ( $\theta$ ) three times ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ) and changing the height of the edge of the weir ( $P$ ) three times (20, 18, 16 cm), for each model six different discharges were passed. Dimensional analysis was performed to obtain the dimensionless parameters that the discharge coefficient ( $C_d$ ) depends on it. Results showed that the change in the angle of the triangular front or back face ( $\alpha$ ) have little effect on the discharge over these weirs, while it was noted that the height of the edge of the weir ( $P$ ) affects on the discharge coefficient, where ( $C_d$ ) increased with increasing ( $P$ ). Also, the upper face angle of the weir ( $\theta$ ) has effect on the discharge coefficient, where the discharge coefficient increased with decreasing the value of angle ( $\theta$ ). Simple empirical equation was predicted, in terms of the application, for the calculation of discharge coefficient ( $C_d$ ) of weirs that used in this study, there was a good agreement between the results obtained from this equation with the experimental results.

**Keywords:** Triangular broad crested weirs, Coefficient of discharge, Artificial Neural Network.

<https://doi.org/10.30684/etj.33.7A.15>

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>

## الخصائص الهيدروليكية للجريان فوق الهدرات المثثة عريضة الحافة

### الخلاصة

تناول هذا البحث دراسة الخصائص الهيدروليكية للجريان فوق السدود الغاطسة المثثة عريضة الحافة ذات الوجه المثث الأمامي أو الخلفي مختبرياً. الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو إستنباط معادلة وضعية لحساب معامل التصريف (Cd) لهذه الأنواع من السدود الغاطسة ومعرفة العوامل التي تؤثر عليها. لهذا الغرض تم إنشاء ثمانية عشر نموذج بأبعاد مختلفة مصنوعة من الزجاج البلاستيكي، حيث إختبرت النماذج في قناة مختبرية بطول 6 متر وعرض 30سم وإرتفاع 40سم. صنفت النماذج الى مجموعتين كل مجموعة تتكون من 9 نماذج، في المجموعة الأولى تم إجراء (108) تجربة وذلك بتغيير زاوية الوجه العلوي للسد الغاطس ( $\theta$ ) ثلاث مرات ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ) وزاوية الوجه المثث الأمامي أو الخلفي للسد ( $\alpha$ ) ثلاث مرات أيضاً ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ) ولكل نموذج تم إمرار ستة تصاريح مختلفة. أما في المجموعة الثانية أجريت (54) تجربة على نماذج ذات وجه مستقيم في الأمام والخلف ( $\alpha=180^\circ$ ) مع تغيير زاوية الوجه العلوي ( $\theta$ ) ثلاث مرات ( $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ) وتغيير إرتفاع حافة فتحة السد (P) ثلاث مرات (16، 18، 20 cm) مع إمرار ستة تصاريح مختلفة لكل نموذج. وباستخدام نظرية التحليل البعدي تم إيجاد المتغيرات اللابعدي التي يعتمد عليها معامل التصريف للسدود الغاطسة المثثة عريضة الحافة. أظهرت النتائج بأن تغيير زاوية الوجه المثث الأمامي أو الخلفي ( $\alpha$ ) للسد الغاطس المثث عريض الحافة له تأثير قليل على مقدار التصريف المار فوقها، في حين لوحظ أن إرتفاع حافة السد يؤثر على معامل التصريف حيث يزداد (Cd) مع زيادة (P)، أما زاوية الوجه العلوي للسد ( $\theta$ ) فإنها تؤثر بشكل عكسي على معامل التصريف حيث يزداد (Cd) بتقليل قيمة الزاوية ( $\theta$ ). تم إستنباط معادلة وضعية، بسيطة من حيث التطبيق، لحساب معامل التصريف (Cd) للسدود الغاطسة المستخدمة في هذه الدراسة وكان هناك توافق جيد ما بين النتائج المستحصلة من هذه المعادلة مع النتائج المقاسة مختبرياً.

**الكلمات الدالة:** السدود الغاطسة العريضة المثثة، معامل التصريف، الشبكة العصبية الاصطناعية

### المقدمة

لاشك إن السدود الغاطسة هي أكثر المنشآت الهيدروليكية إستخداماً لحجز ورفع منسوب المياه ولقياس التصاريح في القنوات أو للسيطرة على الأنحدارات الشديدة في الأنهار والقنوات كمنشآت المساقط، وتعتبر السدود الغاطسة العريضة من أهم أنواع السدود الغاطسة وتتميز في المجال التطبيقي بمتانتها وعدم تأثرها بالأجسام الطافية والمؤثرات الخارجية الأخرى، إضافة الى إنها تعطي مرونة إنشائية في تصميم وتنفيذ الملحقات الإضافية للمنشأ كما إنها تتحمل عمراً كبيراً دونما تأثير كبير على طبيعة التصريف ولا تتطلب هبوطاً كبيراً في مستوى المياه بين المقدم والمؤخر. ومن العوامل التي تؤثر على الجريان فوق أنواع السدود الغاطسة، وبضمنها السدود الغاطسة عريضة الحافة، هي الترسبات الحاصلة مع الوقت في مقدم السد ولهبوط الضغط تحت الشلال المائي (Nappe) في المؤخر عن الضغط الجوي الأعتيادي وذلك لهروب الهواء تدريجياً تحت الشلال، مما يسبب دفع الماء له أثناء جريانه. وهناك الكثير من العوامل الأخرى التي تؤخذ بنظر الأعتبار في تطبيقات السدود الغاطسة منها مايسببه بعض أنواع الجريان السريع للماء من نخر وتآكل في قاع القناة وغيرها [1][2].

أجريت العديد من البحوث والدراسات السابقة الخاصة بدراسة خصائص الجريان فوق السدود الغاطسة عريضة الحافة في الأنهار والقنوات وأعدمت معظم الدراسات على نتائج التجارب المختبرية التي تم فيها استخدام سدود غاطسة بأشكال مختلفة لقياس التصريف فوقها وذلك بأعتبارها منشآت طفح للسيطرة على منسوب المياه في القنوات [3][4][5][6]، وقد قام الباحث سنكر (Singer, 1964) [7] بإجراء العديد من التجارب توصل من خلالها بأن معامل التصريف (Cd) للسدود الغاطسة عريضة الحافة تعتمد على إرتفاع السد الغاطس (P) وكذلك على طول قمته (L) وكذلك أوضح أن معامل التصريف هو دالة للنسبة  $[H_1/P]$  و  $[H_1/(H_1+P)]$  حيث أن (H1) يمثل عمق الماء في موقع القياس عند مقدم السد الغاطس. وفي عام (1966) قام هندرسون (Henderson) [8] بتطوير معادلة لإيجاد التصريف لسد غاطس عريض الحافة ذو زاوية مدورة مع حالات مختلفة للجريان الحرج. وفي عام 2002 أجريت سلسلة من التجارب في مركز البحوث المائية التابع لوزارة الطاقة في إيران حيث تمت دراسة سدود غاطسة عريضة الحافة ذات الأشكال المستقيمة والمقوسة من قبل الباحثين خسروجردي وكافيانبور (Kavianpour Khosrojerdi) and [9]، وقد أعدمت الدراسة على نماذج هيدروليكية لسدود غاطسة مختلفة العرض والتقوس وقد تمت تجاربهما على مرحلتين، في المرحلة الأولى تم استخدام سدود غاطسة عريضة الحافة مستقيمة لغرض إيجاد معامل التصريف

(Cd) وموقع العمق الحرج (y<sub>c</sub>) وشكل سطح الماء فوق السد، أما المرحلة الثانية فقد تم استخدام سدود غاطسة مقوسة حيث تم قياس اختلاف سطح الماء والتصريف لإيجاد معامل التصريف (Cd). كما قام الباحث (قاسم صالح الالفي، 2005) [10] بدراسة تأثير التغير في ارتفاع قمة السد على معامل التصريف (Cd) من خلال التجارب المختبرية حيث قاما بإجراء (254) تجربة على أربعة أنواع مختلفة من السدود الغاطسة وهي (سد غاطس حاد الحافة sharp crested weir وسد غاطس عريض الحافة broad crested weir وسد غاطس مثلثي triangular weir وسد غاطس شبه منحرف trapezoidal weir). وبأستخدام التحليل البعدي وجد أن العلاقة بين معامل التصريف (Cd) و (H/Y) هي علاقة طردية للسدود الغاطسة عريضة الحافة، حيث أن H تمثل ارتفاع الماء فوق حافة السد و Y تمثل ارتفاع السد، وهي تتوافق مع ما توصل اليه الباحثون في هذا المجال. أما بالنسبة للسد الغاطس مثلث الشكل (V-notch) فإن تأثير تغير الزاوية (θ) على معامل التصريف (Cd) أكبر من تأثير تغير (H/Y). وفي عام (2009) قام الباحثان سرجيسون وأرون بيرسي (Sargison & Aaron Percy) [11] بدراسة جريان الماء فوق سد غاطس شبه منحرف عريض الحافة مع قيم مختلفة لميول لمقدم والمؤخر، وكذلك قاما بدراسة الميول (IV: 2H) الميل العمودي بتراكيب مختلفة للوجه الأمامي والخلفي للسد الغاطس، وقام الباحثان (سيد هومان حسيني و حسين أفشار، 2014) [12] بإجراء تجارب مختبرية على سدود غاطسة مستطيلة عريضة الحافة بنماذج ذات أبعاد مختلفة وقد تبين إن معامل التصريف (Cd) يرتبط ارتباطاً وثيقاً بارتفاع الماء فوق قمة الهدار وعرض القناة وطول السد الغاطس.

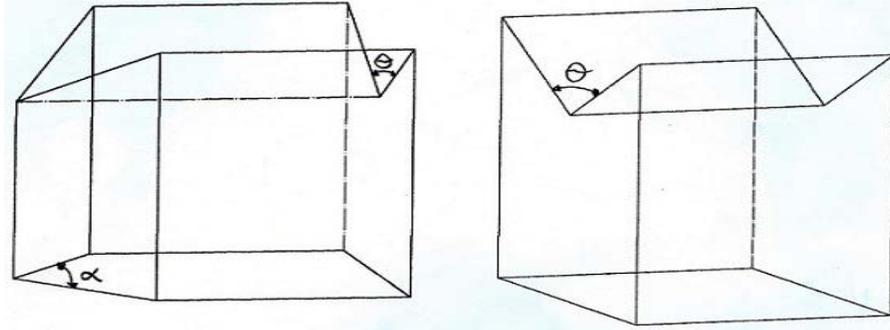
استناداً لما ذكر مسبقاً يلاحظ انه تم دراسة الأداء الهيدروليكي للجريان فوق أشكال مختلفة من السدود الغاطسة عريضة الحافة ولم يتم التطرق لدراسة السدود الغاطسة عريضة الحافة مثلثة الشكل. في هذه الدراسة تم استخدام سدود غاطسة مثلثة (triangular) عريضة الحافة ذات وجه مثلث أمامي (مؤخر السد الغاطس) أو خلفي (مقدم السد الغاطس) وقيم مختلفة لكل من ارتفاع حافة السد (p) وزاوية وجه المثلث الأمامي أو الخلفي (α) وزاوية فتحة الهدار المثلث (θ) وكما يلي:-

$$P = (20, 18, 16) \text{ cm}$$

$$\alpha = (90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ)$$

$$\theta = (90^\circ, 120^\circ, 150^\circ)$$

والشكل (1) يبين بعض أشكال السدود الغاطسة عريضة الحافة التي استخدمت في الدراسة الحالية، حيث أن بعضها بمقدمة مثلثة والبعض الآخر بدون مقدمة، أي α تساوي 180°.

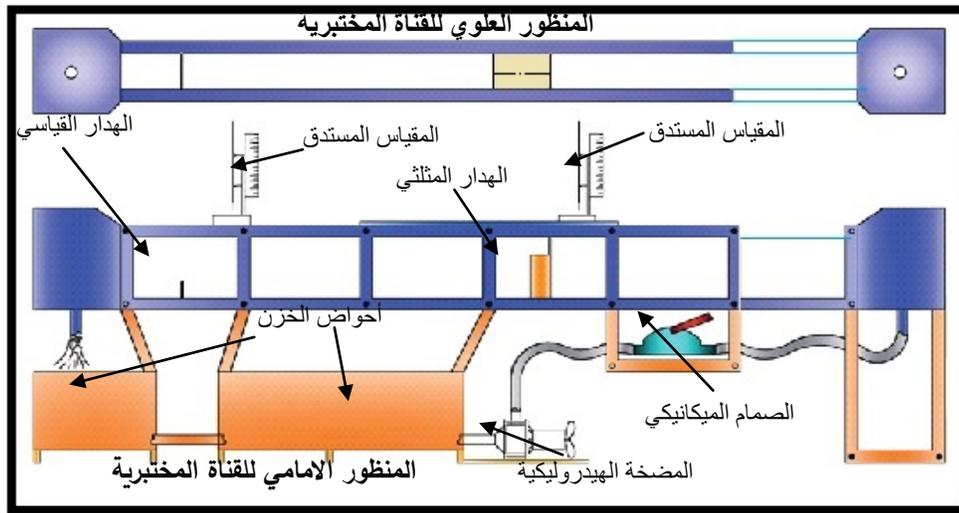


الشكل (1) بعض اشكال السدود الغاطسة عريضة الحافة المستخدمة في الدراسة

إن الهدف الرئيسي من الدراسة الحالية هو الحصول على معادلة لحساب معامل التصريف (Cd) لسد غاطس مثلث الشكل عريض الحافة، مع دراسة علاقة كافة العوامل المرتبطة بالسدود الغاطسة المثلثة مثل زاوية وجه المثلث الأمامي أو الخلفي (α)، وزاوية الوجه العلوي للسد الغاطس (θ)، وارتفاع السد الغاطس (P) على التصريف المار فوق السد الغاطس ومعامل التصريف. وعلى هذا الأساس سيتم استخدام البرنامج الإحصائي (SPSS-19) والاستعانة بنظرية التحليل البعدي لغرض أستنباط علاقة وضعية لحساب معامل التصريف للجريان فوق هذا النوع من السدود الغاطسة.

### الأجهزة والعمل المختبري

استخدمت في إجراء التجارب قناة مختبرية مستطيلة الشكل بطول القناة 6 متر ذات قاعدة حديدية بعرض 0.3 متر وإرتفاع 0.4 متر، وتتصل بحوضين بجهزان القناة بالماء عن طريق مضختين الأولى لها تصريف أعلى مقداره 8 لتر/ثا، والثانية لها تصريف أعلى 2 لتر/ثا، ويمكن التحكم بمقدار التصريف الخارج من المضخة بواسطة صمام يمكن تغيير فتحته حسب التصريف المطلوب. الشكل (2) يمثل مخطط توضيحي للقناة المستخدمة مع ملحقاتها. أجريت التجارب بتهيئة النماذج في القناة، وقيم مختلفة لزاوية الوجه المثلاث الامامي أو الوجه الخلفي ( $\alpha$ ) ولزاوية فتحة السد الغاطس ( $\theta$ ) مع قيم مختلفة لأرتفاع السد (P)، وتشغيل المضخة ليندفع الماء بالقناة فوق السد الغاطس مع التحكم بكمية التصريف بواسطة الصمام الميكانيكي ثم قياس إرتفاع الماء قبل السد بمسافة 1م وبعد السد بمسافة 25سم ولفترات 5سم لضمان رسم سطح الجريان (stream line) بشكل دقيق. ولكل نموذج تم امرار ستة تصاريح مختلفة، حيث تم ثبتت النتائج المستحصلة من كل تجربة.



الشكل (2) مخطط القناة المختبرية المستخدمة في التجارب

التصاريح المارة عبر القناة كبيرة نوعاً ما ونظراً لصعوبة حسابها بالطريقة الحجمية وكذلك لتجنب حصول خطأ في حساب التصريف بهذه الطريقة تم استخدام هدار ذو فتحة مثلثة حاد الحافة بشق عمودي على شكل حرف (V) مقطوع حسب المواصفات البريطانية (British Standard Institution) [13] بزاوية ( $90^\circ$ )، وهو مصنوع من مادة الزجاج البلاستيكي سمك [سم يثبت في نهاية القناة، وقد تمت معايرته وأستخراج معادلتها بأستخدام الطريقة الحجمية (Volumetric Method) حيث تم حساب حجم الماء المار خلاله في فترة زمنية محددة ولمناسيب مختلفة من الماء، وأستخدمت هذه المعادلة في حساب التصريف المار في القناة ولكل تجربة.

$$Q = 0.0132(H)^{2.5622} \quad \dots(1)$$

حيث إن:

$Q$  = معدل جريان الماء (لتر/ثا)

$H$  = عمق الماء فوق حافة السد المثلاث (سم)

التحليل البعدي

قبل إجراء التجارب تم إختيار المتغيرات المستخدمة في التحليل البعدي المؤثرة والداخلية في التجارب العملية، لذلك فإن التصريف المار فوق السد الغاطس المثلاثي عريض الحافة يمكن أن يكون دالة للمتغيرات التالية

$$Q = f(\alpha, \theta, h_w, P, B, L, g, \rho, \mu, \gamma) \quad \dots(2)$$

حيث إن:

$$Q = \text{معدل الجريان } (L^3 T^{-3})$$

$$\alpha = \text{زاوية مقدمة السد الغاطس (dimensionless variable)}$$

$$\theta = \text{زاوية الوجه العلوي من السد الغاطس (dimensionless variable)}$$

$$h_w = \text{ارتفاع الماء فوق السد الغاطس (L)}$$

$$p = \text{ارتفاع السد الغاطس (L)}$$

$$B = \text{عرض السد (L)}$$

$$L = \text{طول السد (L)}$$

$$g = \text{التعجيل الارضي } (LT^{-2})$$

$$\rho = \text{الكثافة الكتلية للماء } (ML^{-3})$$

$$\mu = \text{لزوجة الماء } (ML^{-1}T^{-1})$$

$$\gamma = \text{الشدة السطحي } (M T^{-2})$$

وباتباع عملية التحليل البعدي باستخدام نظرية باي (Pie-theorem) تم الحصول على المتغيرات التالية:

$$\frac{Q}{h_w^{5/2} * g^{1/2}} = f(\alpha, \theta, \frac{h_w}{P}, \frac{h_w}{L}, \frac{h_w}{B}, Re, We) \quad \dots(3)$$

وطبقاً لما ذكره جاو (Chow, 1959) إن الجريان في القنوات يكون مضطرباً وتكون قوى اللزوجة ضعيفة نسبةً للقوى الداخلية، لذلك فإن الجريان في الدراسة الحالية لا يعتمد على رقم رينولدز (Re) وبالأمكان إهماله، لذلك تصبح المعادلة (3) بالشكل الآتي:

$$\frac{Q}{h_w^{5/2} * g^{1/2}} = f(\alpha, \theta, \frac{h_w}{P}, \frac{h_w}{L}, \frac{h_w}{B}, We) \quad \dots(4)$$

كذلك وطبقاً لما ذكره ويبير (Weber 1971) فإن قوى الشد السطحي تكون قليلة وغير مؤثرة بشرط أن لا يقل ارتفاع الماء فوق حافة الهدار ( $h_w$ ) عن 6 ملم، لذلك يمكن أهمل رقم ويبير (We) لتصبح المعادلة كما يلي:

$$\frac{Q}{h_w^{5/2} * g^{1/2}} = f(\alpha, \theta, \frac{h_w}{P}, \frac{h_w}{L}, \frac{h_w}{B}) \quad \dots(5)$$

وبما أن معامل التصريف هو معامل لابعدي (dimensionless parameter) ويرتبط بعلاقة طردية مع التصريف المار فوق الهدار، لذلك فإن هذا المعامل يعتمد على نفس المتغيرات التي يعتمد عليها التصريف. لذلك يمكن ان تكون معادلة معامل التصريف بالشكل التالي:

$$Cd = f(\alpha, \theta, \frac{h_w}{P}, \frac{h_w}{L}, \frac{h_w}{B})$$

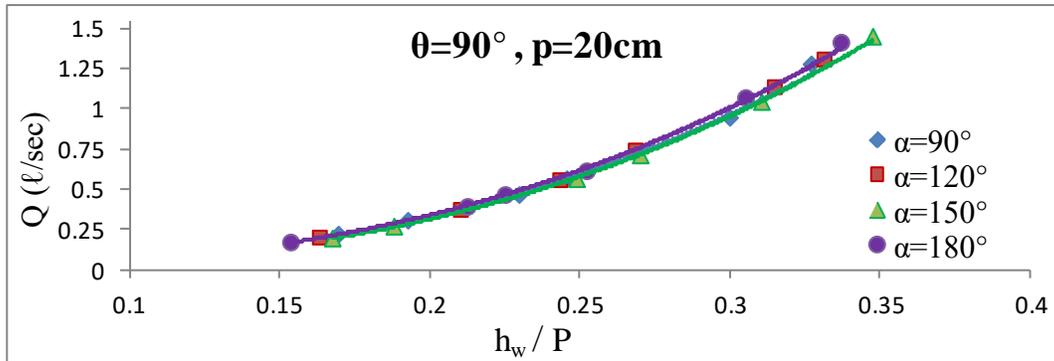
...(6)

### تحليل ومناقشة النتائج

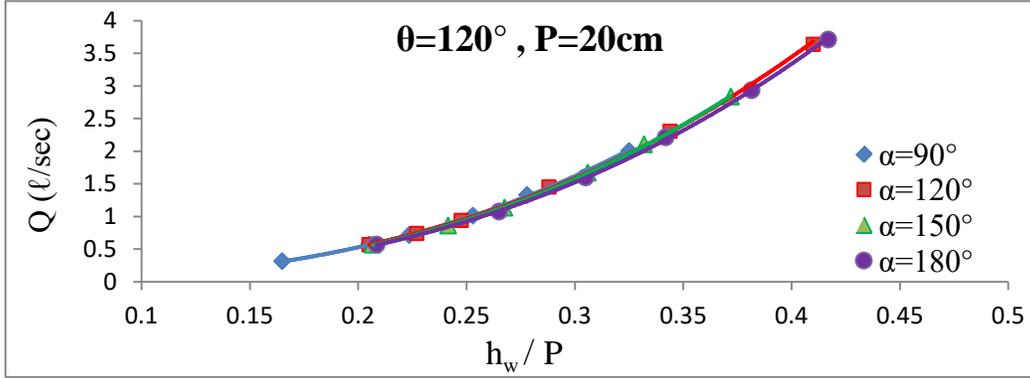
من خلال رسم العلاقات التي تربط بين المتغيرات التي تم التوصل إليها من التحليل البعدي للعوامل المؤثرة على سلوك الجريان فوق هذه السدود ولغرض بيان تأثير تغيير زاوية الوجه الأمامي (المؤخر) أو الخلفي (المقدم) للسد الغاطس المثلث عريض الحافة على سلوك الجريان المار فوقه وعلى كمية التصريف، أجريت (108) تجربة على (9) نماذج تم خلالها تغيير زاوية وجه السد الغاطس ( $\alpha = 90, 120, 150, 180$ ) ولتوعين من الجريان الأول عندما تكون زاوية الوجه الخلفي للسد الغاطس باتجاه الجريان ومرة أخرى عندما تكون زاوية الوجه الأمامي للسد الغاطس عكس اتجاه الجريان.

الأشكال (3، 4، 5) تبين العلاقة بين التصريف فوق السد الغاطس المثلث عريض الحافة ذو وجه خلفي مثلث زاويته ( $\alpha$ ) والعامل اللابيدي ( $h_w/p$ ) عندما يكون ارتفاع حافة السد ( $p$ ) يساوي 20 سم ولزوايا مختلفة لفتحة السد ( $\theta$ ). أما الأشكال (6، 7، 8) فتبين العلاقة بين التصريف فوق السد الغاطس المثلث عريض الحافة ذو وجه أمامي مثلث زاويته ( $\alpha$ ) والعامل اللابيدي ( $h_w/p$ ) عندما يكون ارتفاع حافة السد ( $p$ ) يساوي 20 سم ولزوايا مختلفة لفتحة السد ( $\theta$ ).

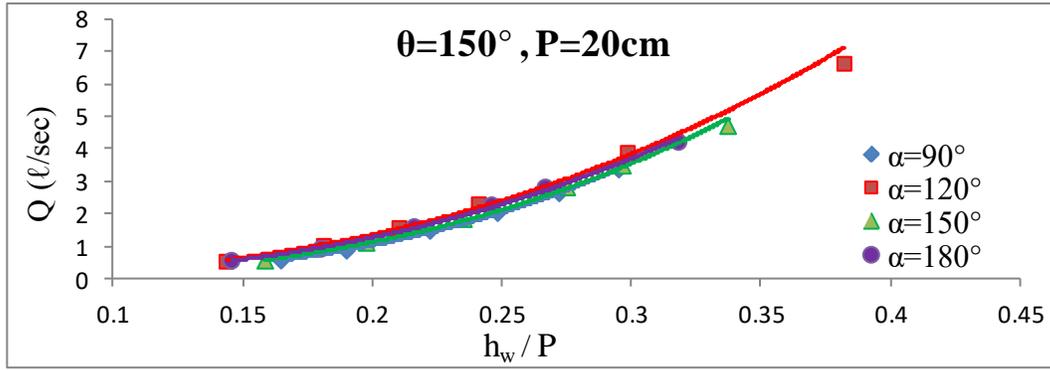
يلاحظ من العلاقات السابقة ولكلا حالتي الجريان، أن التصريف يزداد مع زيادة ( $h_w$ ) وهذا من الأمور الطبيعية، لكن يلاحظ عدم وجود تغير كبير ملحوظ بكمية التصريف عند تغير زاوية الوجه الخلفي أو الأمامي ولكلا الحالتين، لذلك تم إكمال تجارب الدراسة الحالية على نماذج بزوايا مختلفة من السدود الغاطسة المثلثة عريضة الحافة ذات وجه أمامي وخلفي مستقيم ( $\alpha = 180^\circ$ ) مع استخدام ارتفاعات مختلفة لحافة السد ( $p$ ) (16، 18، 20)، حيث أجريت (54) تجربة على (9) نماذج لبيان تأثير هذه المتغيرات على خصائص الجريان ومعامل التصريف ( $Cd$ ) وكذلك شكل سطح الجريان فوق هذا النوع من السدود الغاطسة.



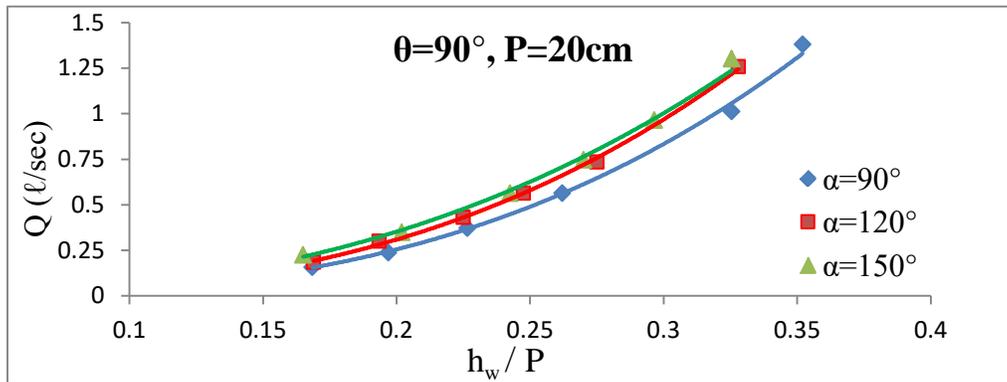
الشكل (3) العلاقة بين التصريف و( $h_w/p$ ) لسد غاطس مثلث عريض الحافة بزوايا  $90^\circ$  ذو وجه مثلث خلفي باتجاه الجريان ولزوايا مختلفة



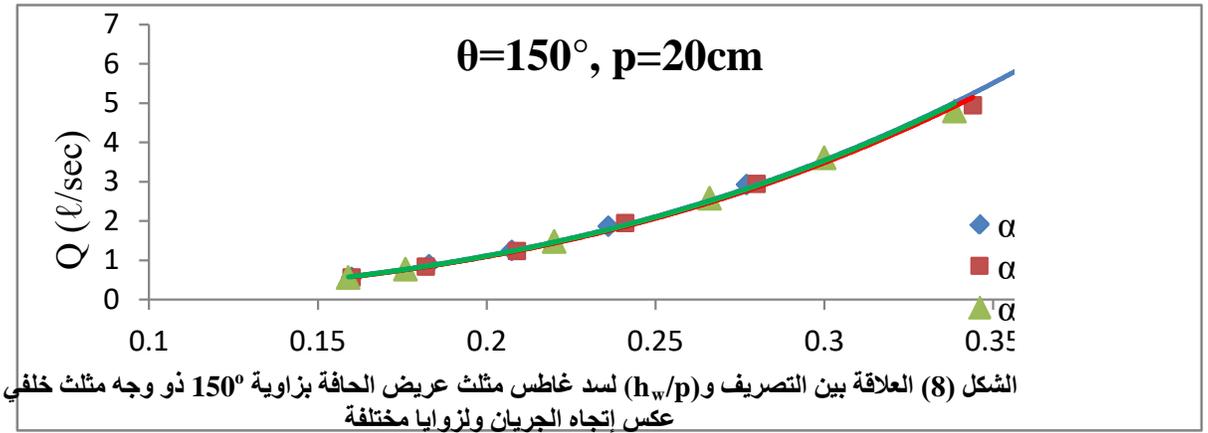
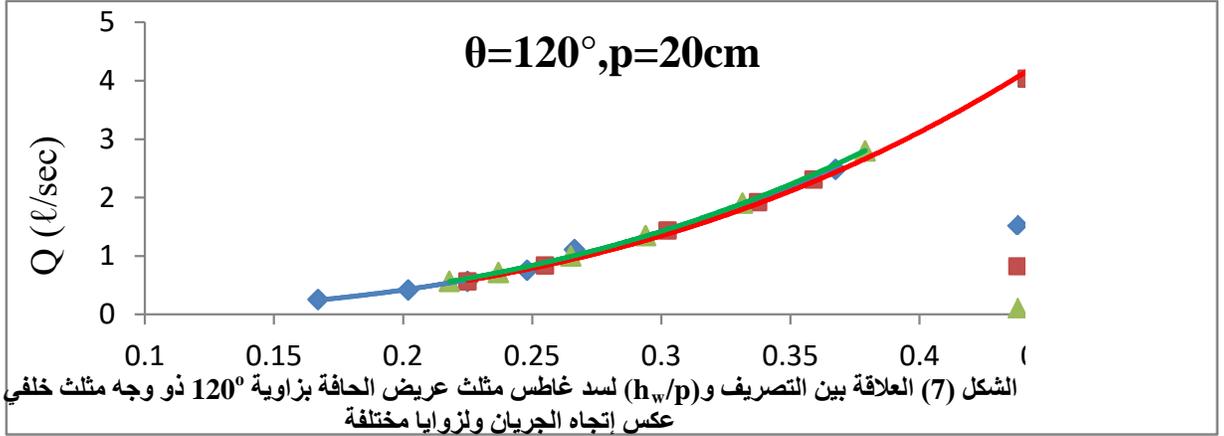
الشكل (4) العلاقة بين التصريف و( $h_w/p$ ) لسد غاطس مثلث عريض الحافة بزاوية  $120^\circ$  ذو وجه مثلث خلفي باتجاه الجريان ولزوايا مختلفة



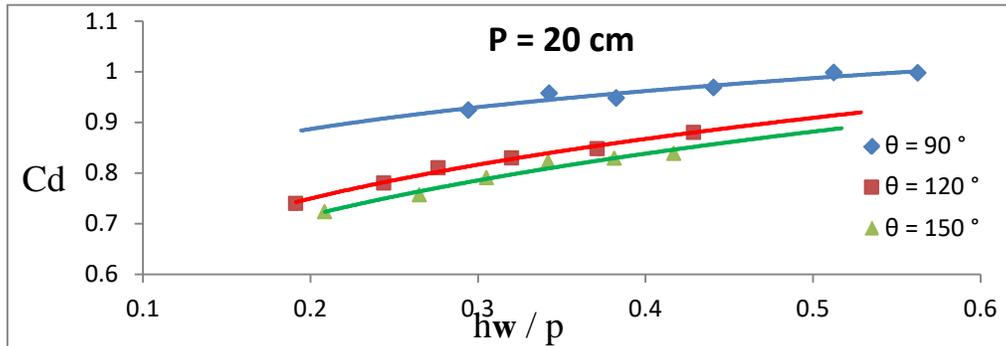
الشكل (5) العلاقة بين التصريف و( $h_w/p$ ) لسد غاطس مثلث عريض الحافة بزاوية  $150^\circ$  ذو وجه مثلث خلفي باتجاه الجريان ولزوايا مختلفة



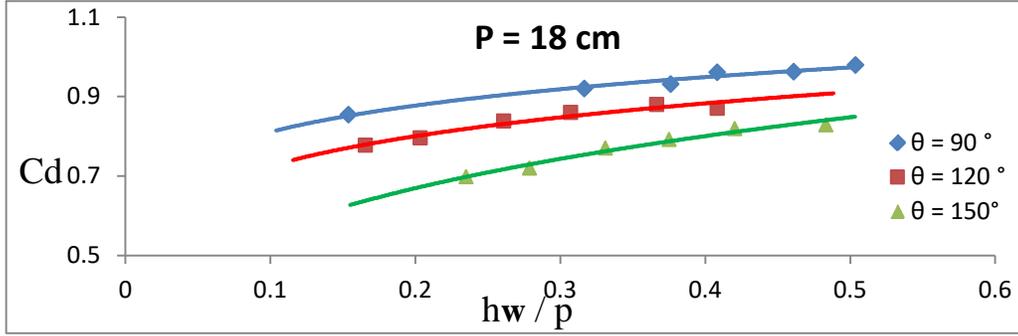
الشكل (6) العلاقة بين التصريف و( $h_w/p$ ) لسد غاطس مثلث عريض الحافة بزاوية  $90^\circ$  ذو وجه مثلث خلفي عكس إتجاه الجريان ولزوايا مختلفة



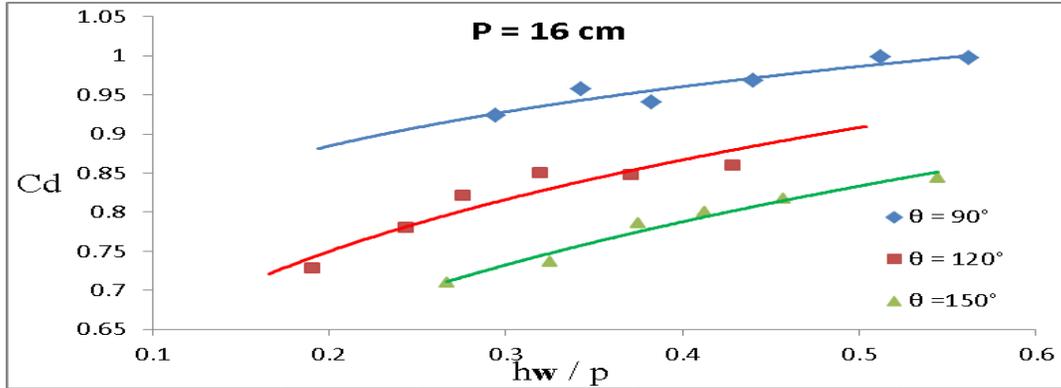
أما العلاقة بين معامل التصريف ( $C_d$ ) وزاوية الوجه العلوي للسد ( $\theta$ ) فهي علاقة عكسية حيث كلما زادت فتحة المثلث العلوية قلت قيمة معامل التصريف والعكس صحيح بثبوت ارتفاع السد ( $P$ ). والأشكال (9، 10، 11) توضح العلاقة بين زاوية الوجه العلوي ( $\theta$ ) للسد ومعامل التصريف ( $C_d$ ).



الشكل (9) العلاقة بين معامل التصريف ونسبة ( $h_w/p$ ) لزوايا مختلفة للفتحة العلوية للسد الغاطس المثلث عندما ارتفاع حافة السد ( $P$ ) تساوي 20 سم



الشكل (10) العلاقة بين معامل التصريف ونسبة  $(h_w/p)$  لزوايا مختلفة للفتحة العلوية للسد الغاطس المثلث عندما ارتفاع حافة السد (P) تساوي 18 سم

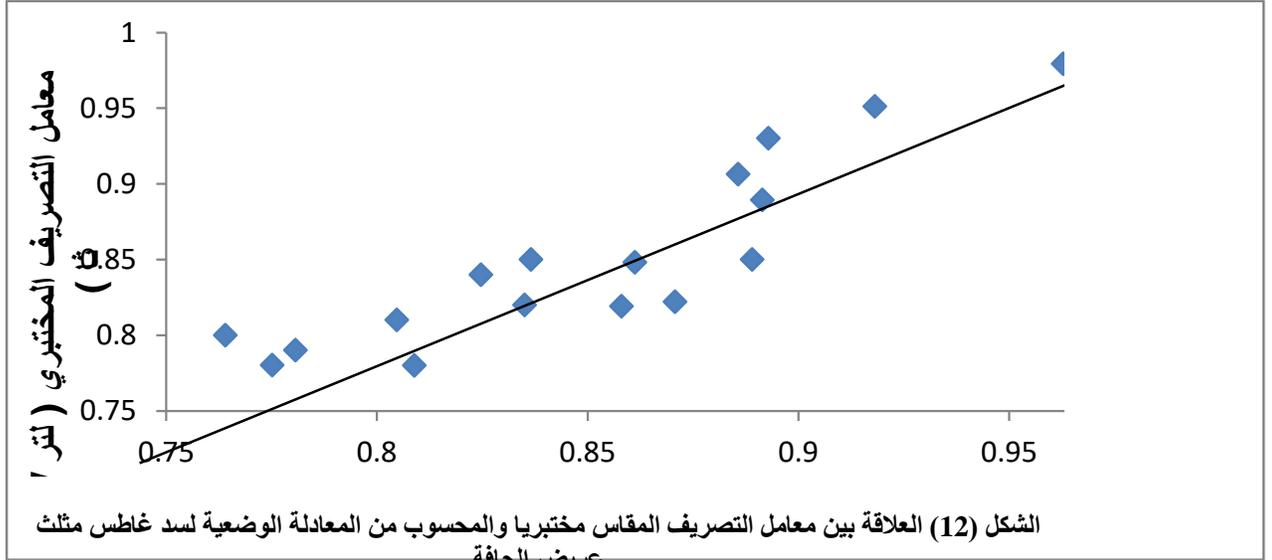


الشكل (11) العلاقة بين معامل التصريف ونسبة  $(h_w/p)$  لزوايا مختلفة للفتحة العلوية للسد الغاطس المثلث عندما ارتفاع حافة السد (P) تساوي 16 سم

أما بقية المتغيرات اللابعدية والتي تم التوصل إليها من التحليل البعدي وهي  $(h_w/p)$  و  $(h_w/B)$  و  $(h_w/L)$  فإن علاقتها مع معامل التصريف (Cd) علاقة طردية لجميع زوايا السد الغاطس  $(\theta)$ ، كذلك يلاحظ زيادة معامل التصريف (Cd) عند زيادة ارتفاع حافة السد (P).  
 وإستناداً إلى نتائج التحليل البعدي وتطبيق (70%) من النتائج المختبرية في البرنامج الإحصائي (SPSS19) تم أستنباط معادلة وضعية لحساب معامل التصريف (Cd) للسدود الغاطسة مثلثة الشكل عريضة الحافة بالأعتماد على المتغيرات التالية وكما يلي :

$$Cd = 0.84 - 0.061(\theta) + 0.09 \left( \frac{h_w}{P} \right) + 0.29 \left( \frac{h_w}{B} \right) + 0.18 \left( \frac{h_w}{L} \right) \dots (7)$$

علماً إن نسبة الخطأ القياسي لهذه المعادلة كانت 0.028% ومعامل التحديد  $(R^2)$  يساوي 0.769. وبتطبيق النتائج المختبرية المتبقية والبالغة (30%) على المعادلة الوضعية المستنتجة كانت العلاقة ما بين معامل التصريف المقاس عملياً والمحسوب من هذه المعادلة متوافقة بصورة جيدة كما مبين في الشكل (12).



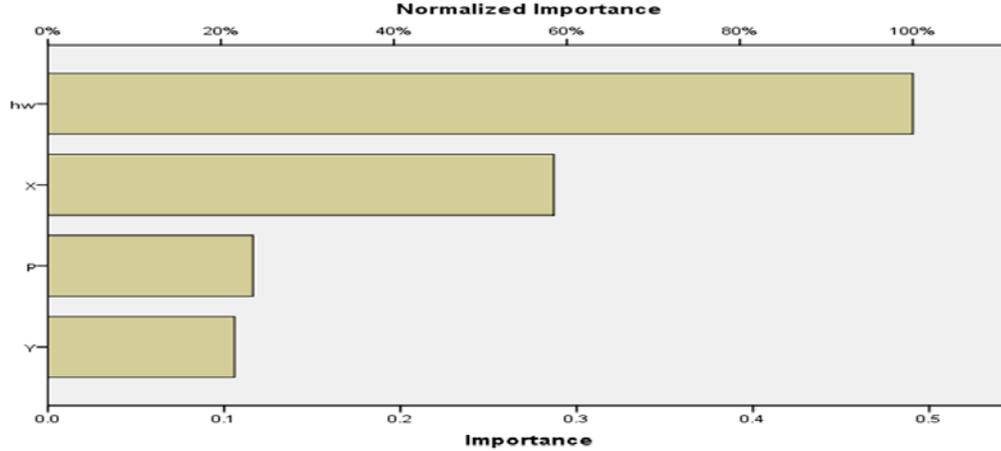
كذلك عند تحليل النتائج بواسطة شبكات الخلايا العصبية (Artificial Neural Networks)، تبين بأن أهم متغير ضمن المتغيرات المؤثرة على الجريان فوق السدود الغاطسة المثلثة عريضة الحافة هو ( $h_w$ ) والذي يمثل ارتفاع الماء فوق حافة السد الغاطس، حيث يلاحظ من الجدول (1) والشكل (13) أن نسبة تأثيره هي (49.1%)، لذلك يجب الانتباه وتوخي الدقة أثناء قياسه. ويعد يأتي تأثير زاوية الوجه العلوي للسد ( $\theta$ ) وإن نسبة تأثيرها هو نصف هي (28.7%)، أما تأثير المتغير ( $P$ ) فكانت نسبة تأثيره (11.6%) وأخيراً يأتي تأثير زاوية وجه السد ( $\alpha$ ) حيث تبلغ نسبة تأثيرها (10.6%).

جدول (1) نسبة تأثير العوامل المؤثرة على التصريف المقاس باستخدام سد غاطس مثلث عريض الحافة

#### Independent Variable Importance

	Importance	Normalized Importance
X	.2870	58.5%
Y	.1060	21.6%
P	.1160	23.7%
$h_w$	.4910	100.0%

حيث إن: ( $Y = \alpha$ ) ، ( $X = \theta$ )



الشكل (13) مخطط نسبة تأثير العوامل المؤثرة على التصريف المقاس باستخدام سد غاطس مثلث عرض الحافة الأستنتاجات

أظهرت نتائج التجارب المختبرية التي أجريت على الجريان فوق السد الغاطس المثلث عرض الحافة ذو وجه مثلث من الامام او الخلف أن زاوية الوجه المثلث الأمامي أو الخلفي ( $\alpha$ ) للسد الغاطس المثلث عرض الحافة وكذلك ارتفاع حافة السد (P) لهما تأثير قليل على مقدار التصريف المار فوقها، في حين لوحظ أن ارتفاع حافة السد يؤثر على معامل التصريف بشكل واضح، حيث على العموم يزداد (Cd) مع زيادة (P). أما زاوية الوجه العلوي للسد ( $\theta$ ) فإنها تؤثر بشكل واضح على التصريف حيث يزداد التصريف بزيادة قيمة الزاوية ( $\theta$ ).  
تم اشتقاق معادلة وضعية لحساب معامل التصريف للسدود الغاطسة المثلثة عريضة الحافة وأظهرت النتائج توافقاً جيداً ما بين النتائج المحسوبة مختبرياً والنتائج المحسوبة من هذه المعادلة، كما اتضح أن العامل الأكثر أهمية في حساب التصريف فوق هذه الأنواع من السدود الغاطسة هو ارتفاع الماء فوق حافة السد ويأتي بعده زاوية فتحة السد ومن ارتفاع السد الغاطس.

#### المصادر

- [1] Fenton, J., , "Rating curves part2-representation and approximation", Proc. Conference on Hydraulic in civil Engineering, Institution of Engineering, Habart 28-30 November, Australia, 2001.
- [2] Chow, V. T., "Open Channel Hydraulics", McGraw-Hill Book Com., New York, N. Y., 1959.
- [3] Govinda Rao, N. S., and Muralidhar, D., "Discharge characteristics of weirs of finite crest width" La Houille Blanche, 18(5), 537-545, 1963.
- [4] Inam A.K. Juma and Bahzad M.A. Noori, " Performance improvement of broad crested weirs ", Al-Rafidain Engineering, Vol.17 No.2 April 2009.
- [5] Amir Hossein Azimi and N. Rajaratnam "Discharge characteristics of weirs of finite crest length", ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 2009.
- [6] Ehsan Goodarzi & Javad Farhoudi and Naser Shokri, "Flow characteristics of rectangular broad-crested weirs with sloped upstream face", J. Hydrol. Hydromech., 6, 2012 DOI:10.2478/v10098-012-0008-1
- [7] Singer J., "Square-edged broad-crested weir as a flow measurement device", Water and Water Eng., 28, 820, 229–235, 1964.
- [8] Henderson F. M., "Open Channel Flow", New York, Macmillan Publishing Co. Inc, pp (211), 1966.

- [9] Khosrojerdi, A. and Kavianpour, M. R., “Hydraulic behavior of straight and curved broad crested weirs”, 5th International Conference on Hydro-Science and Engineering, Warsaw, Poland, 2002.
- [10]. Kassem Salah El-Alfy “Effect of Vertical Curvature of Flow at Weir Crest on Discharge Coefficient” 9th International Water Technology Conference, IWTC9, Sharm El-Sheikh, Egypt, 2005.
- [11]. Jane E. Sargison and Aaron Percy, “Hydraulics of broad crested weirs with varying side slopes” ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 135, No. 1, February 1, 2009.
- [12]. Seyed Hooman Hoseini and Hossein Afshar, “Flow over a broad crested weir in subcritical flow conditions, physical study”, Journal of River Engineering ,Vol.2, 1, 2014.
- [13]. British Standard Institution (BSI), “ Method of Measurement of Liquid Flow in open Channel” , part 4A, BS 3680, London, England, U. K., 1965.