

## حماية القنوات المفتوحة باستخدام السلال الحصوية

خالد ياسين طه علي

مدرس

جامعة الموصل/كلية الهندسة / قسم هندسة الموارد المائية

بهزاد محمد علي نوري

أستاذ مساعد

جامعة دهوك/كلية الهندسة/ قسم الهندسة المدنية

### الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة مختبرية لحماية القنوات المفتوحة باستخدام السلال الحصوية عن طريق إجراء سلسلة من التجارب المختبرية على قناة شبه منحرفة ذات ميل وعرض ثابتين للقعر. وتضمن البحث إيجاد قيم تصريف فشل طبقة الحماية المستخدمة لجوانب القناة، مع وصف لنمط الفشل تحت تأثير تغيير ميل جوانب القناة، وقطر الحصوي المستخدم في ملئ السلال الحصوية، وعدد طبقات الحماية، إذ تم استخدام ثلاثة ميول لجوانب القناة (1V:1.5H، 1V:2H، 1V:2.5H) وثلاثة أقطار للحصى (11.1، 15.9، 22.25) ملم ولطبقة واحدة وطبقتين من الحماية. ولوحظ أثناء التجارب وجود نمطين من فشل طبقة الحماية هما الزحف والانقلاب الناتجان من حركة الحصى داخل السلة الحصوية.

وقد أظهرت النتائج وجود علاقة طردية بين تصريف فشل طبقة الحماية، وكتلة السلة الحصوية، وعدد طبقات الحماية. كما لوحظ أن تصريف فشل طبقة الحماية يزداد بنقصان ميل جوانب القناة، وتم الحصول على معادلات تربط بين تصريف فشل السلة الحصوية، وكتلة السلة الحصوية، وميل جوانب القناة. كما تم الحصول على معادلات وضعية باستخدام التحليل البعدي لإيجاد تصريف فشل طبقة الحماية بدلالة عمق الجريان المنتظم، ومعدل قطر الحصى المستخدم لملئ السلال الحصوية. كما وضعت طريقة تصميمية لإيجاد تصريف فشل طبقة حماية جوانب القنوات باستخدام السلال الحصوية.

الكلمات الدالة: القنوات المفتوحة، السلال الصخرية.

## Protection Of Open Channels Using Gabions

**Bahzad Mohammad Ali Noori**

Assistant Lecturer

**Khalid Yassin Taha Ali**

Lecturer

### Abstract

This research investigates open channel protection using gabions by conducting a series of laboratory tests on a trapezoidal channel with fixed width and bed slope. In this study, values of failure flowrates are obtained with a description of failure mode under the effect of changing channel side slope, gravel mean diameter, and number of protection layers. Three channel side slopes are tested (1V:1.5H, 1V:2H, and 1V:2.5H), with three gravel diameters (11.1, 15.9, and 22.25)mm, for one and two layers of protection. Two modes of failure have been observed namely sliding and overturning due to the movement of gravel inside the gabions.

Results showed a direct relation between failure flowrate of protection layer and both gabion weight and number of protection layers. It has been obtained that failure flow rate increases with the decrease of channel side slopes. Equations have been obtained relating failure flowrate with both gabion weight and channel side slope. Empirical equations have been obtained using dimensional analysis to estimate failure flowrate as a function of uniform flow depth and gravel mean diameter. A design method has been proposed to protect channel side slopes using gabions.

**Keywords:** open channels, gabions

## 1- مقدمة عامة :

تعد مشكلة النحر والتآكل التي يتعرض لها قعر القنوات المفتوحة وجوانبها من المشكلات التي نالت اهتمام الباحثين والعاملين في حقل الهيدروليك، إذ تتعرض تلك القنوات وبخاصة جوانبها إلى عوامل التعرية والنحر؛ نتيجة السرعة العالية للجريان التي تؤدي إلى إلحاق الضرر الكبير في تلك القنوات. قام الباحثون في هذا المجال [1][2][3][4] بإجراء الدراسات المخبرية والنظرية باستخدام عدة تقنيات لحماية المنشآت الهيدروليكية، والقنوات المفتوحة من مشكلات التعرية والنحر وللحصول على حماية ذات استقرار عالية مقاومة للقوى الخارجية المؤثرة ومن تقنيات هذه الحماية ما يأتي:

1. الحماية بالتبطين بالحجارة Riprap.
  2. الحماية باستخدام الكتل والصبات الكونكريتية Concrete blocks.
  3. الحماية باستخدام السلال الصخرية Gabions.
- تعد تقنية الحماية باستخدام السلال الصخرية من التقنيات الحديثة والمثالية التي أثبتت نجاحها في منشآت هيدروليكية عديدة، مثل السدود الغاطسة، والمساقط المائية، والجدران الساندة، وفي تهذيب الأنهر. على الرغم من أن كلفة الحماية بالسلال هي ثلاثة أضعاف كلفة الحماية بالتبطين بالحجارة، إلا أنها نالت اهتماماً وانتشاراً كبيرين في العالم، إذ تعطي تلك الحماية استقرارية تعادل استقرارية الكتل الكونكريتية، وتقوم استقرارية طبقة التبطين بالحجارة [5][6]. تُعرّف السلال بأنها مشبكات من الأسلاك المقاومة للصدمات مملوءة بالصخور، وتشكل تراكيب متصلة مع بعضها، وقد يطلق على السلال تسمية فرشة رينو Reno Mattress عندما تكون النسبة بين المساحة السطحية إلى الارتقاع كبيراً، إذ تصنع من سلك مغنون، وتكون فتحاتها صغيرة وأبعادها أكبر من أبعاد الجايون [7].

إن أهم ميزات تقنية الحماية بالسلال هي [8]:

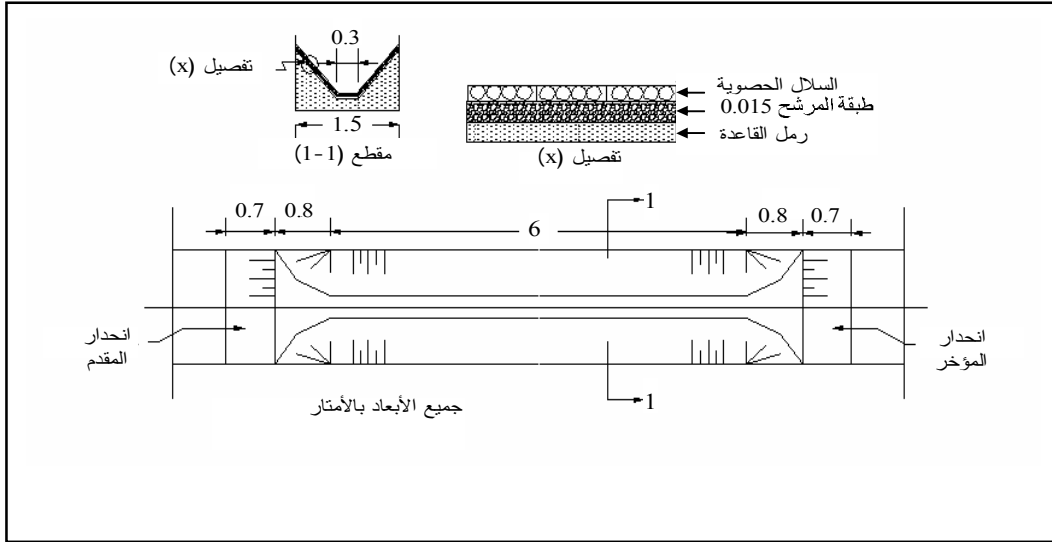
1. واطئة الكلفة (Low Cost): إن كلفة استخدامها في معظم المنشآت الهيدروليكية واطئة، لأنها لا تحتاج إلى أسس عند الإنشاء، وتكون ذات صيانة سهلة وقليلة، لا تحتاج إلى معدات ثقيلة أو أيدي عاملة ذات مهارة خاصة.
2. المتانة (Durability): إن قوة السلال ومتانتها تزداد مع الزمن، إذ تنترسب المواد الطينية والغرينية بين مسامات الصخور التي تملأ السلال محولة السلال إلى كتلة واحدة ذات متانة عالية لمقاومة الظروف الخارجية والقوى المسببة لفشلها.
3. المرونة (Flexibility): تتمتع السلال بمرونة عالية، لأن الحماية بالسلال تتحمل مختلف القوى المسببة للهبوط بدون أن تنهشم. هذه الخاصية مهمة عند إنشاء السلال على تربة غير مستقرة، أو عند إنشائها في المواقع التي تتعرض إلى التيارات المائية العالية.
4. النفاذية (Permeability): تعد السلال منشآت بزل حرة، فإثناء استخدامها في حماية المنشآت الهيدروليكية تمنع تكون الشحانات الساكنة (Hydrostatic heads) خلفها. فضلاً عن الميزات المذكورة في أعلاه تعمل السلال على إدامة البيئة إذ تسمح للنباتات بالنمو من خلالها مما يزيد من مقاومتها وتضيف جاذبية وجمال للموقع.

## 2- العمل المختبري:

إن برنامج تجارب البحث يتضمن إنشاء قنوات رملية شبه منحرفة بميول مختلفة لجوانب القناة (1:Z) مقدارها (1:1.5، 1:2، أو 1:2.5) على التوالي. كل نموذج يتضمن استخدام ثلاثة أحجام من الحصى لملئ سلال الحماية ( $D_m = 11.1, 15.9, 22.25$ ) ملم على التوالي وباستخدام طبقة واحدة وطبقتان من الحماية لكل نموذج. إن الأسلوب الذي اتبع في بناء القناة الرملية المستخدمة في التجارب، تم عن طريق تحويل قناة خرسانية مستطيلة إلى قناة رملية شبه منحرفة طولها 6 أمتار، وعرض القعر 0.3 متر، وميل طولي للقعر 0.01، وميل جوانب متغير. وإن عملية التحويل تضمنت الأجزاء الآتية (لاحظ الشكل (1)):

1. إنشاء عتبة (Sill) في بداية القناة الرملية وأخرى في نهايته بعرض (0.8 متر) عمودية على اتجاه الجريان. إن الهدف من إنشاء العتبتين هو استخدامهما بوصفهما منسوباً مرجحياً للحصول على الميل المطلوب لقعر القناة شبه المنحرفة.
2. إنشاء منحدر (Ramp) عند بداية القناة الرملية وأخرى عند نهايته، إذ يعملان كمنطقتين انتقال (Transition Zones) بين قعر القناة الخرسانية المستطيلة، وقعر القناة شبه المنحرفة.
3. توصيلتان مقربتان من جوانب ميل القناة تعملان على أنهما منطقة انتقال للجريان بين جدران القناة الخرسانية المستطيلة، وبداية القناة شبه المنحرفة. وتوصيلتان مبعثتان

- عن جوانب ميل القناة تعملان على أنهما منطقة انتقال للجريان من نهاية القناة شبه المنحرفة إلى جدران القناة الخرسانية المستطيلة. الهدف من إنشائهما هو جعل الجريان انسيابياً وغير مضطرب عند مدخل القناة شبه المنحرفة ومخرجها.
4. قناة شبه منحرفة رملية بطول 6 أمتار، وعرض قعر 0.3 متر، و ميل طولي للقعر 0.01.
5. استخدمت سلال حصوية بثلاثة أحجام للحصى لحماية القناة بأبعاد 20سم×20سم.
6. يفصل بين القناة الرملية، وطبقة الحماية المرشح التقليدي (Conventional gravel filter) هو عبارة عن تدرج من الحصى يصمم حسب معايير خاصة [9].



الشكل (1): منظور أفقي للقناة الرملية مع مقطع عرضي

### 3- مواصفات المواد المستخدمة في التجارب:

#### 1.3 مواصفات الحصى (Gravel Specifications):

استخدم في هذه البحث ثلاثة أحجام للحصى. إن اختيار حجم الحصى لكل أنموذج يتم بتمرير الحصى من منخل معلوم الحجم، ومن ثم ارتداده على منخل آخر، فيكون حجم الحصى المطلوب للنموذج هو معدل حجم المنخلين . كما تم إيجاد زاوية الاحتكاك الداخلي ( $\phi$ ) لنماذج الحصى باستخدام طريقة تستند على قياس زاوية الاستكانة (Angle of repose) لكل أنموذج إذ يتم وضع الحصى على لوحة خشبية 50سم × 30 سم يتم تحريكها بزاوية عن الأفق. يكون سطح اللوحة الخشبي مشابهاً لسطح جوانب القناة التي يوضع عليها الحصى من حيث خشونة . وتم إيجاد الكثافة الكتلية ( $\rho_s$ ) لكل أنموذج باستخدام طريقة الأسطوانة الحجمية. ويوضح الجدول (1) مواصفات الحصى المستخدم في التجارب المختبرية.

الجدول (1): مواصفات الحصى المستخدم في التجارب

رقم الأنموذج	بمر من منخل (ملم)	يرتد على المنخل (ملم)	$D_m$ (ملم)	الكثافة ( $\rho_s$ ) (غم/سم <sup>3</sup> )	زاوية الاحتكاك الداخلي ( $\phi$ ) درجة
الأول	12.7	9.5	11.1	2.623	34.4
الثاني	19.1	12.7	15.9	2.648	35.7
الثالث	25.4	19.1	22.25	2.688	37

### 3.2 مواصفات السلال الحصوية (Gabions Specifications):

استخدمت أكياس النايلون المشبكة في صنع سلال الحماية بسبك (0.5) ملم، وفتحات (5) ملم. وتمت خياطة أكياس النايلون على شكل حقائب مربعة الشكل بأبعاد 20 سم × 20 سم، ملئت هذه الأكياس حسب الوزن المطلوب لكل نوع من الحصى للحصول على السبك المطلوب للسلة الحصوية بمقدار  $D_m$  لكل نوع. تكون المفاصل بين السلال الحصوية متخالفة (طريقة الحل والشد) عند وضعها على جوانب القناة، لكي لا تقع المفاصل على خط واحد. واستوجب هذا الأمر تحضير سلال حصوية بأبعاد 20 سم × 10 سم لتمثل نصف سلة حصوية.

تم قياس زوايا الاحتكاك الداخلي ( $\phi_g$ ) للسلال الحصوية المستخدمة في التجارب، كما تم تحديد صلادة (Solidity) السلة الحصوية ولكل نوع من الحصى المستخدم والتي هي عبارة عن صلادة وجه مادة الحماية. في الدراسة الحالية، افترض أن وجه مادة الحماية للسلة الحصوية هي مادة صلدة متماسكة تعمل كقطعة واحدة. تم إيجاد قيم صلادة السلال الحصوية المستخدمة بتطبيق المعادلة الآتية [10]:

$$a = \frac{W_g}{x \cdot l \cdot \rho_s \cdot d} \quad \dots\dots(1)$$

إذ أن:  $a$  = صلادة السلة الحصوية (بدون وحدة)،  $W_g$  = كتلة السلة الحصوية (غم)،  $x$  = طول السلة الحصوية (سم)،  $l$  = عرض السلة الحصوية (سم)،  $\rho_s$  = الكثافة الكتلية للحصى (غم/سم<sup>3</sup>) و  $d$  = سمك السلة الحصوية (سم) (في البحث الحالي  $D_m=d$ ).

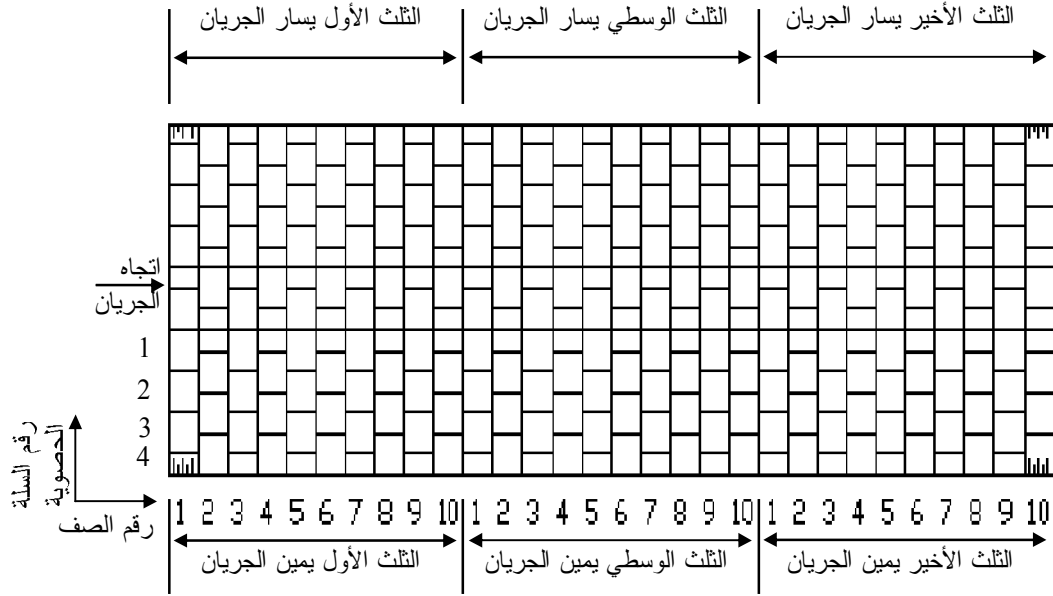
الجدول (2) يوضح مواصفات السلال الحصوية المستخدمة في التجارب.

الجدول (2): مواصفات السلال الحصوية المستخدمة في التجارب

زاوية الاحتكاك الداخلي ( $\phi_g$ ) درجة	الصلادة (a)	الكتلة $W_g$ (غرام)	$D_m$ (ملم)
35	0.6011	700	1.11
36.3	0.5344	900	15.9
38.5	0.5225	1250	22.25

### 3.3 طريقة إجراء التجارب المختبرية :

بعد تهيئة القناة المختبرية لإجراء التجارب، وضعت السلال الحصوية على القناة الرملية بالطريقة الموضحة في الشكل (2). في بداية كل فحص يتم تهيئة وتصفير مقاييس أعماق الجريان، ويتم بعد ذلك إجراء التجارب بتشغيل المضخة وبجريان قليل يدخل إلى القناة شبه المنحرفة المحمية بالسلال الحصوية. ومن الشروط الأساسية لكل تجربة الحصول على جريان منتظم ومستقر وللوصول إلى ذلك استخدمت ثلاثة مقاييس لقياس أعماق الجريان، وضع الأول في منتصف القناة الرملية ووضع الثاني والثالث على بعد 1.5 متر أعلى وأسفل المقياس الأول. بعد تشغيل المضخة، وإمرار تصريف معين داخل القناة وباستخدام البوابة في نهاية القناة يكون الجريان منتظماً عندما يتم الحصول على العمق نفسه عند المقاييس الثلاثة. ويتم في كل تجربة ملاحظة وضعية السلال الحصوية على طول القناة الرملية. وفي حالة استقرار السلال الحصوية وعدم وجود أية حركة فيها يتم تسجيل عمق الجريان، وارتفاع الماء فوق الهدار وقياس درجة حرارة الماء. بعد ذلك يتم زيادة الجريان بصورة تدريجية وتطبيق الأسلوب السابق نفسه في إجراء التجربة. إن الفترة الزمنية اللازمة لزيادة معدل الجريان بصورة تدريجية ليست أقل من 40 دقيقة حتى في حالة عدم وجود حركة في السلال الحصوية. بعد كل زيادة في التصريف، تراقب حركة السلال بدقة على طول القناة، ويحدد عدد السلال المتحركة ونوعية حركتها. يتم الاستمرار في التجارب لحين الحصول على المرحلة النهائية، التي تمثل الفشل (Failure flowrate) لطبقة الحماية عندما تتحرك السلال الحصوية من مكانها معرضة طبقة المرشح وجوانب القناة الرملية إلى تيارات سطحية قوية تعمل على غسل المرشح والرمل معاً. تم إجراء 205 تجارب للوصول إلى تصريف فشل طبقة الحماية. لقد لوحظ أثناء التجارب أن فشل طبقة الحماية



الشكل (2): المنظور الأفقي للقناة الرملية يوضح طريقة وضع السلال الحصوية على القناة

يبدأ أولاً باهتزاز السلة الحصوية من موقعها اهتزازاً موقعياً بسيطاً، ومن ثم يبدأ الحصى داخل السلة بالحركة إلى أسفل السلة نتيجة لزيادة التصريف، ويتجمع عند الركن مما يؤدي إلى اختلاف سمك السلة، أو قد تتعرض السلة إلى حركة أفقية باتجاه الجريان نتيجة لتعرضها إلى انقلاب كلي، وهذه الحالات تزيد من عدم استقرار السلة الحصوية في حماية القناة، وتكون مترافقة مع انهيار طبقة المرشح والرمل وحدث الفشل. إن نمط الفشل السائد في أغلب التجارب هو الانقلاب الكلي للجايونات وخاصة للميول (1V:2H) و (1V:2.5H). وبالنسبة لميل جوانب القناة (1V:1.5H)، حدث الفشل نتيجة لزحف السلال الحصوية المترافقة مع حركة السلال السفلية. تركز موقع فشل السلال الحصوية لأغلب التجارب في التلث الوسطي والأخير للقناة وهذه الحالة مشابهة لما ذكره [Ahmed,1988] [11] أثناء وصفه لحالة الفشل التي حدثت لطبقة حماية جوانب القنوات المفتوحة بالحجارة (Riprap). يبين الجدول (3) نتائج تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية.

#### 4. تحليل النتائج المخبرية ومناقشتها:

إن تحليل النتائج المخبرية تم بواسطة دراسة العوامل المؤثرة في تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية، ثم استخدام طريقة التحليل البعدي لتلك العوامل للحصول على معادلة عامة لتصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية.

#### 1.4 العوامل المؤثرة في تصريف الفشل:

##### 1.1.4 كتلة السلال الحصوية (Wg):

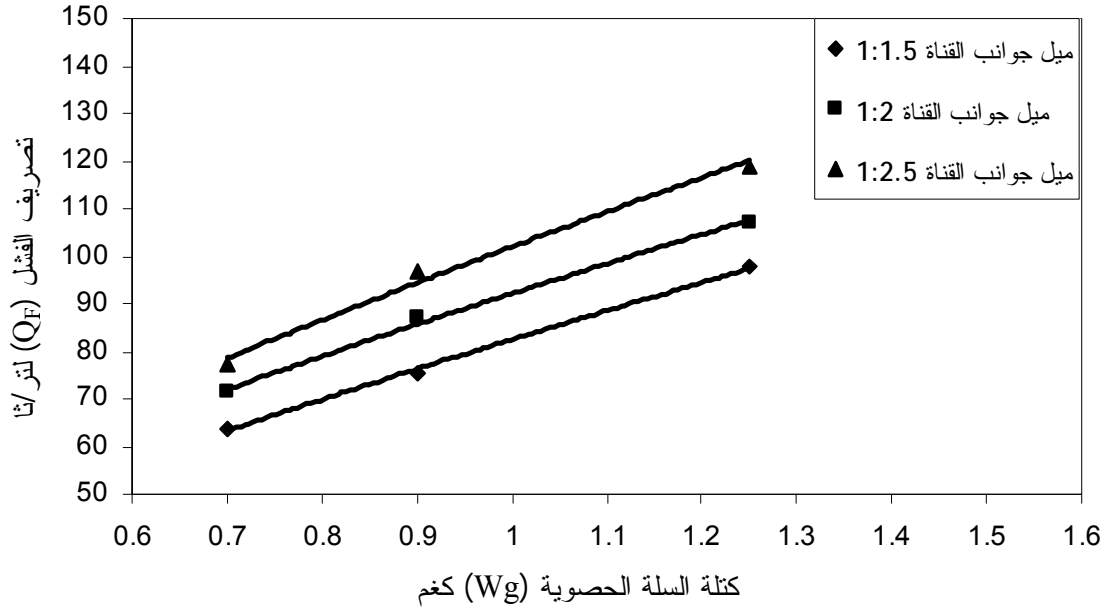
أشارت نتائج التجارب إلى وجود علاقة طردية بين تصريف الفشل وكتلة السلة الحصوية وللميول المستخدمة في التجارب ولحالي الحماية بطبقة واحدة وطبقتين. إن سبب زيادة قيمة تصريف الفشل بزيادة كتلة السلة الحصوية يعود إلى زيادة مركبة قوة الوزن العمودية للسلة التي تعمل على استقرار السلة الحصوية، وزيادة مقاومتها للقوى المحركة لها. ويوضح الجدول (4) النسب المئوية للزيادة في تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية أثناء زيادة كتلة السلة. إذ يبين أن النسبة المئوية للزيادة في تصريف الفشل لنفس ميل جوانب القناة تزداد بزيادة الكتلة، وكذلك فإن تلك النسب تكون أكبر في حالة الحماية بطبقتين عن ما هي عليها في حالة الحماية بطبقة واحدة من السلال الحصوية. ورسمت العلاقة بين تصريف الفشل وكتلة السلة الحصوية ولحالي الحماية بطبقة واحدة وطبقتين في الشكلين (3-أ) و (3-ب).

الجدول (3): تصارييف فشل الحماية بالسلال الحصوية

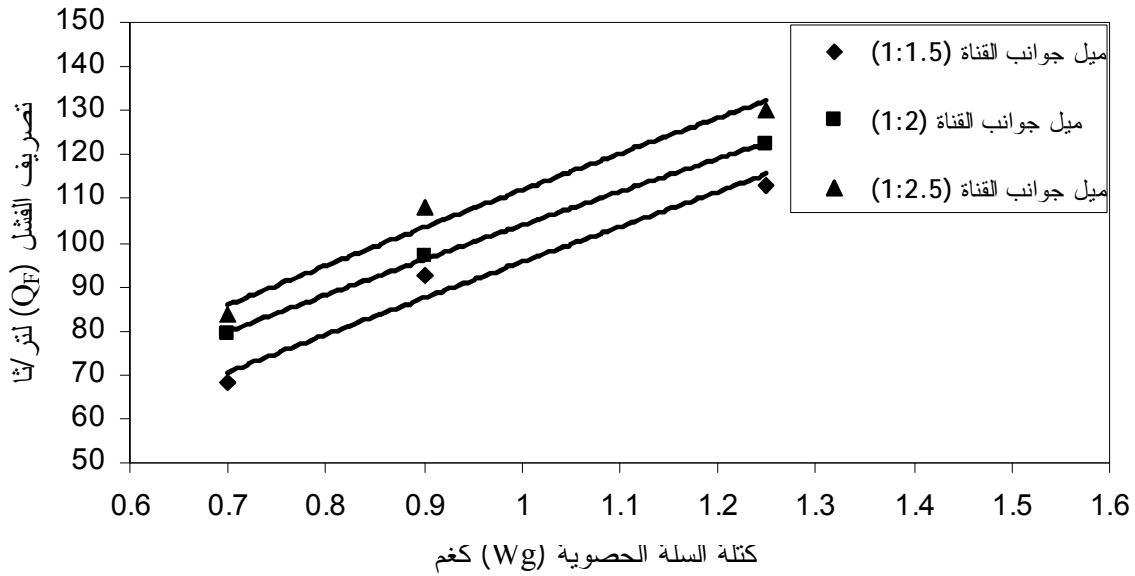
تصريف الفشل (Q <sub>F</sub> ) لتر/ثا	عدد طبقات الحماية (N)	درجة حرارة الماء (C°)	عمق الجريان (y) متر	ميل جوانب القناة (1:Z)	كتلة السلة الحصوية (Wg) كغم	معدل قطر الحصي (D <sub>m</sub> ) متر
63.691	1	14	0.154	1:1.5	0.7	0.0111
75.442	1	12	0.165	1:1.5	0.9	0.0159
97.819	1	13	0.189	1:1.5	1.25	0.02225
71.440	1	16	0.147	1:2	0.7	0.0111
86.880	1	16	0.166	1:2	0.9	0.0159
106.935	1	21	0.185	1:2	1.25	0.02225
77.475	1	25	0.151	1:2.5	0.7	0.0111
96.705	1	27	0.17	1:2.5	0.9	0.0159
118.783	1	25	0.192	1:2.5	1.25	0.02225
68.494	2	14	0.167	1:1.5	0.7	0.0111
92.285	2	13	0.18	1:1.5	0.9	0.0159
112.797	2	14	0.208	1:1.5	1.25	0.02225
79.528	2	15	0.158	1:2	0.7	0.0111
96.702	2	16	0.175	1:2	0.9	0.0159
122.434	2	21	0.2	1:2	1.25	0.02225
83.698	2	24	0.153	1:2.5	0.7	0.0111
108.098	2	27	0.182	1:2.5	0.9	0.0159
129.870	2	26	0.2	1:2.5	1.25	0.02225

الجدول (4): النسب المئوية للزيادة في تصريف الفشل بزيادة كتلة السلة الحصوية

النسبة المئوية للزيادة في تصريف الفشل	تغيير تصريف الفشل لتر/ثا	زيادة كتلة السلة الحصوية من والى كغم	عدد طبقات الحماية (N)	ميل جوانب القناة (1:Z)
18.5	75.442-63.691	0.9-0.7	1	1:1.5
53.6	97.819-63.691	1.25-0.7		
21.6	86.88-71.44	0.9-0.7	1	1:2
49.7	106.935-71.44	1.25-0.7		
24.8	96.705-77.475	0.9-0.7	1	1:2.5
53.3	118.783-77.475	1.25-0.7		
34.7	92.285-68.494	0.9-0.7	2	1:1.5
64.7	112.797-68.494	1.25-0.7		
21.6	96.702-79.528	0.9-0.7	2	1:2
54	122.434-79.528	1.25-0.7		
29.2	108.098-83.698	0.9-0.7	2	1:2.5
55.2	129.87-83.698	1.25-0.7		



الشكل (3-أ): العلاقة بين تصريف الفشل وكتلة السلة الحصوية (1 = N)



الشكل (3-ب): العلاقة بين تصريف الفشل وكتلة السلة الحصوية (2 = N)

تم الحصول على العلاقة الأتية التي تربط تصريف الفشل وكتلة السلة:

$$Q_F = a_1 Wg^{n_1} \quad \dots(2)$$

إذ أن:  $Q_F$  = تصريف فشل السلة الحصوية (لتر/ثا) و  $a_1$  و  $n_1$  = ثوابت المعادلة. يبين الجدول (5) قيم الثوابت  $a_1$  و  $n_1$  مع معامل التحديد  $R^2$ .

الجدول (5): قيم الثوابت  $a_1$  و  $n_1$  مع معامل التحديد

معامل التحديد $R^2$	$n_1$	$a_1$	عدد طبقات الحماية N	ميل جوانب القناة (1:Z)
0.98	0.743	82.49	1	1:1.5
0.99	0.693	92.17	1	1:2
0.99	0.732	101.96	1	1:2.5
0.96	0.848	95.58	2	1:1.5
0.99	0.743	103.99	2	1:2
0.97	0.747	112	2	1:2.5

#### 2.1.4 ميل جوانب القناة ( $S = 1/Z$ ):

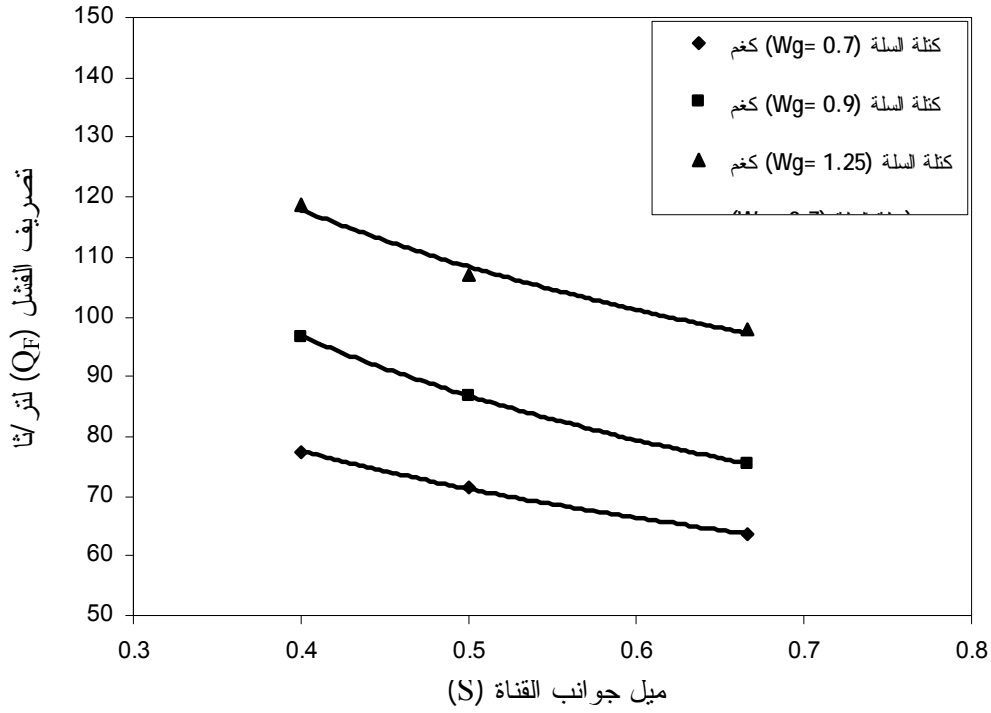
أشارت نتائج التجارب إلى وجود علاقة عكسية بين تصريف الفشل وميل جوانب القناة، إذ يزداد تصريف فشل السلال الحصوية كلما قل ميل جوانب القناة. وأن السبب في ذلك يعود إلى أن تقليل ميل جوانب القناة يؤدي إلى تقليل في مركبة قوة الوزن الأفقية للسلة والمؤثرة باتجاه مواز لميل جوانب القناة، التي تعمل على زحزحة السلة من مكانها، وإلى زيادة مركبة قوة الوزن العمودية للسلة المساعدة في مقاومة حركة السلة الحصوية من جهة أخرى. ويوضح الجدول (6) النسب المئوية للزيادة في تصريف فشل السلال الحصوية بتقليل ميل جوانب القناة.

الجدول (6): النسب المئوية للزيادة في تصريف الفشل بتقليل ميل جوانب القناة

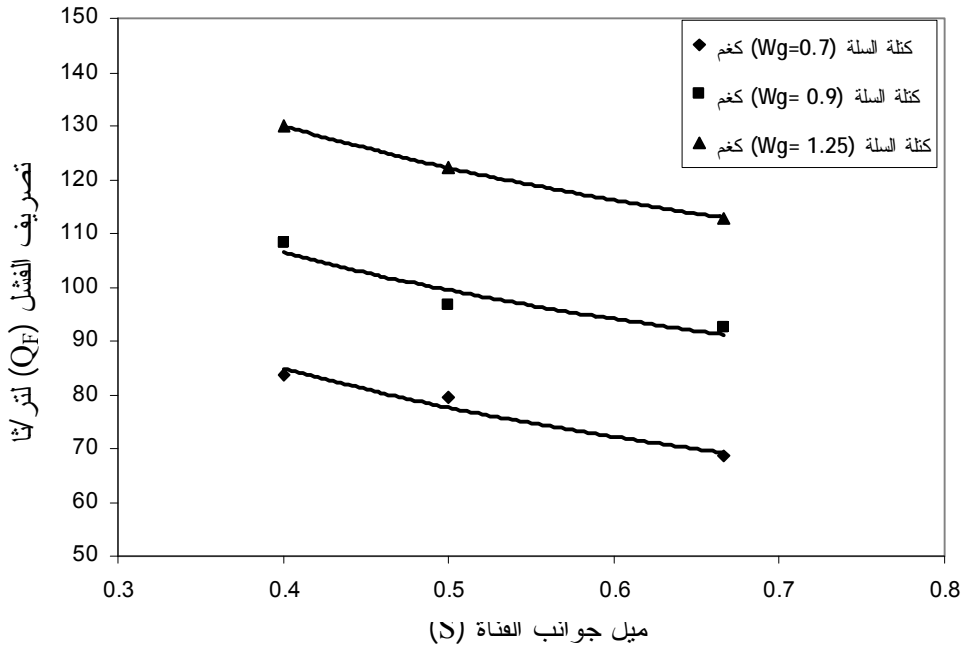
النسبة المئوية للزيادة في تصريف الفشل	تغيير تصريف الفشل لتر/ثا	تقليل ميل الجوانب من وإلى ( $S = 1 / z$ )	عدد طبقات الحماية (N)	كتلة السلة الحصوية (Wg) كغم
12.2	71.44-63.691	0.5-0.6666	1	0.7
21.7	77.475-63.691	0.4-0.6666		
15.2	86.88-75.442	0.5-0.6666	1	0.9
28.2	96.705-75.442	0.4-0.6666		
9.3	106.935-97.819	0.5-0.6666	1	1.25
21.4	118.783-97.819	0.4-0.6666		
16.1	79.528-68.494	0.5-0.6666	2	0.7
22.2	83.698-68.494	0.4-0.6666		
4.8	96.702-92.285	0.5-0.6666	2	0.9
17.1	108.048-92.285	0.4-0.6666		
8.5	122.434-112.797	0.5-0.6666	2	1.25
15.1	129.87-112.797	0.4-0.6666		



يبين الجدول أن النسبة المئوية للزيادة في تصريف الفشل لكتلة السلة الحصوية نفسها تزداد بتقليل ميل الجوانب، ولحالتها الحماية بطبقة واحدة وطبقتين من السلال الحصوية. رسمت العلاقة بين تصريف الفشل، وميل جوانب القناة في الشكلين (4-أ) و (4-ب).



الشكل (4-أ): العلاقة بين تصريف الفشل وميل جوانب القناة (N = 1)



الشكل (4-ب): العلاقة بين تصريف الفشل وميل جوانب القناة (N = 2)

تم الحصول على العلاقة الأتية التي تربط تصريف الفشل وميل جوانب القناة:

$$Q_F = a_2 S^{n_2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

إذ أن: S = ميل جوانب القناة ويساوي (1/Z) و  $a_2$  و  $n_2$  = ثوابت المعادلة. يبين الجدول (7) قيم الثوابت  $a_2$  و  $n_2$  مع معامل التحديد  $R^2$ .

الجدول (7): قيم الثوابت  $a_2$  و  $n_2$  مع معامل التحديد

معامل التحديد $R^2$	$n_2$	$a_2$	عدد طبقات الحماية (N)	كتلة السلة الحصوية كغم (Wg)
0.98	- 0.391	54.39	1	0.7
0.99	- 0.494	61.70	1	0.9
0.98	- 0.383	83.22	1	1.25
0.95	- 0.399	58.89	2	0.7
0.91	- 0.303	80.63	2	0.9
0.99	- 0.276	100.91	2	1.25

## 3.1.4 عدد طبقات الحماية (N):

أشارت النتائج إلى وجود علاقة طردية بين تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية وعدد طبقات الحماية. ويوضح الجدول (8) النسب المئوية للزيادة في تصريف فشل السلال الحصوية بزيادة عدد طبقات الحماية لميل جوانب القناة نفسها وكتلة السلة الحصوية. إن نسب هذه الزيادة ليست كبيرة ومؤثرة إذا ما قورنت بنسب الزيادة في تصريف الفشل في حالة استخدام طبقة واحدة ، ولكن بزيادة كتلة السلة الحصوية وللميل نفسه. فمثلاً أعطت النتائج نسبة زيادة في تصريف الفشل مقدارها (7.5%) عند تغيير طبقة الحماية بالسلال الحصوية من واحدة إلى اثنتين عندما تكون كتلة السلة الحصوية (0.7) كغم، وميل الجوانب (1V:1.5H) في حين كانت نسبة الزيادة في تصريف الفشل مقدارها (18.5%) في حالة استخدام طبقة واحدة فقط ولكن بزيادة كتلة السلة الحصوية من (0.7-0.9) كغم ولميل الجوانب نفسه (1V:1.5H). والحال نفسه لبقية الميول. ووفق ذلك، يمكن عدّ الزيادة في كتلة السلة الحصوية لطبقة حماية واحدة ولميل الجوانب نفسه أفضل من الناحية التصميمية من زيادة عدد طبقات الحماية وللميل والكتلة نفسها ، لأنه أعطى نسبة زيادة في تصريف الفشل أكبر ، فضلاً عن الجانب الاقتصادي المهم ، إذ أن زيادة عدد طبقات الحماية يؤدي إلى كلفة أكبر من كلفة تغيير كتلة السلة الحصوية.

الجدول (8): النسب المئوية للزيادة في تصريف الفشل بزيادة عدد طبقات الحماية

النسبة المئوية للزيادة في تصريف الفشل	تصريف الفشل (N=2) لتر/ثا	تصريف الفشل (N=1) لتر/ثا	ميل جوانب القناة 1:Z	كتلة السلة الحصوية كغم (Wg)
7.5	68.494	63.691	1:1.5	0.7
22.3	92.285	75.442	1:1.5	0.9
15.3	112.797	97.819	1:1.5	1.25
11.3	79.528	71.44	1:2	0.7
11.3	96.702	86.88	1:2	0.9
14.5	122.434	106.935	1:2	1.25
8	83.698	77.457	1:2.5	0.7
11.8	108.098	96.705	1:2.5	0.9
9.3	129.870	118.783	1:2.5	1.25

#### 2.4 التحليل البعدي للعوامل المؤثرة في تصريف الفشل:

يمكن التعبير عن أهم المتغيرات التي تؤثر في تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية بالعلاقة العامة الآتية:

$$Q_F = f(D_m, y, g, \rho_s - \rho_w, \rho_w, S, S_g, a, N) \quad \dots\dots(4)$$

إذ أن:  $D_m$  = قطر الحصى المستخدم لملئ السلة الحصوية،  $y$  = عمق الجريان أثناء حدوث الفشل،  $g$  = التعجيل الأرضي،  $\rho_s - \rho_w$  = الكثافة الكتلية المغمورة،  $\rho_w$  = الكثافة الكتلية للماء و  $S$  = ميل جوانب القناة،  $S_g$  = ظل زاوية السكون للسلة الحصوية  $\tan\Phi_g$ ،  $a$  = صلادة السلة الحصوية و  $N$  = عدد طبقات الحماية المستخدمة. واتباع طريقة التحليل البعدي وباستخدام نظرية باي ( $\pi$ - theorem) يمكن صياغة العلاقة (4) على النحو الآتي:

$$f_1\left(\frac{Q_F}{y^{2.5} g^{0.5}}, \frac{y}{D_m}, S, \rho', S_g, a, N\right) = 0 \quad \dots\dots (5)$$

إذ أن:  $\rho' = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$ ، ووفق التغييرات المسموح بها فيمكن دمج الحدود اللابعدية ( $\rho'$ ،  $S_g$  و  $a$ ) في حد لا بعدي واحد، وبإعادة ترتيب المتغيرات في العلاقة (5) يمكن كتابتها بالشكل الآتي:

$$Q_F = C y^{2.5} g^{0.5} \left(\frac{y}{D_m}\right)^{X_1} (\rho' a S_g)^{X_2} (S)^{X_3} (N)^{X_4} \quad \dots\dots (6)$$

إذ أن:  $C$  = ثابت لا بعدي يمثل معامل تصريف الفشل،  $X_1$ ،  $X_2$ ،  $X_3$  و  $X_4$  = أسس المتغيرات، ولإيجاد قيم ثوابت المعادلة (6) تم استخدام برنامج (SPSS-Ver 10) الإحصائي بعد إدخال البيانات لكل المتغيرات وكانت المعادلات بالشكل الآتي:

لحالة الحماية بطبقة واحدة تم الحصول على المعادلة الآتية بمعامل تحديد ( $R^2=0.966$ ):

$$Q_F = 0.877 y^{2.5} g^{0.5} \left(\frac{y}{D_m}\right)^{0.278} (\rho' a S_g)^{-0.294} (S)^{-0.342} \quad \dots\dots (7)$$

لحالة الحماية بطبقتين تم الحصول على المعادلة الآتية بمعامل تحديد ( $R^2=0.93$ ):

$$Q_F = 0.717 y^{2.5} g^{0.5} \left(\frac{y}{D_m}\right)^{0.269} (\rho' a S_g)^{-0.446} (S)^{-0.485} \quad \dots\dots (8)$$

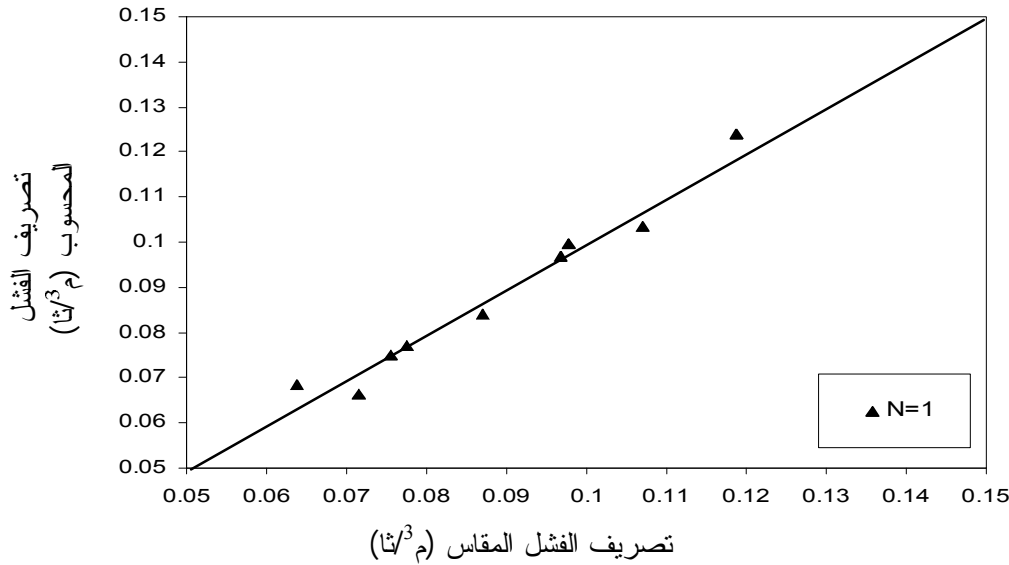
ويمكن التعويض عن معدلات القيم ( $\rho'$ ،  $S_g$  و  $a$ ) في المعادلات (7) و (8) وهذه القيم هي (1.6574، 0.7434 و 0.5527) على التوالي، والتعويض عن قيمة التعجيل الأرضي ( $g = 9.81$ ) م/ثا<sup>2</sup> وبعد التبسيط تصبح تلك المعادلات بالصيغة النهائية الآتية:  
لحالة الحماية بطبقة واحدة:

$$Q_F = 3.075 \frac{y^{2.778} S^{-0.342}}{D_m^{0.278}} \quad \dots\dots (9)$$

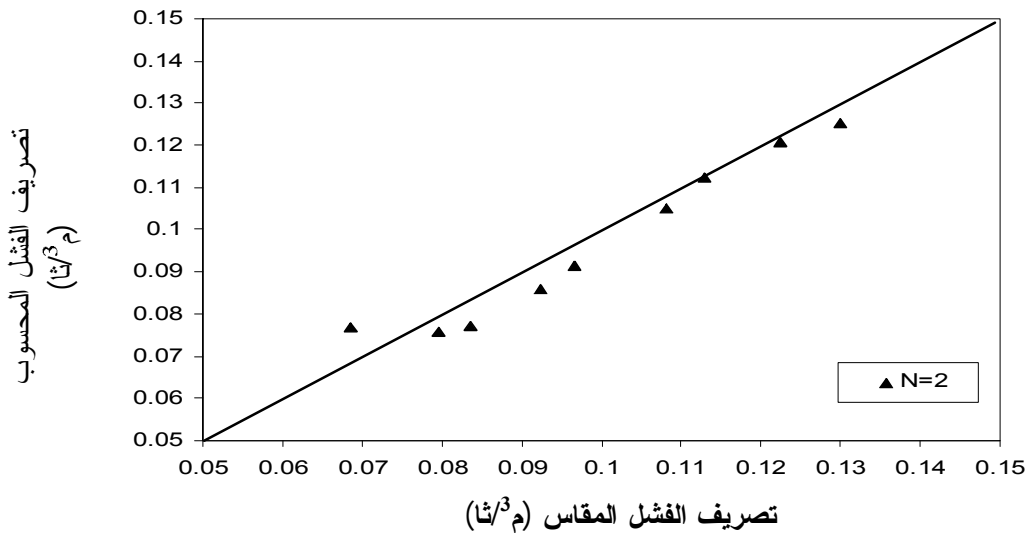
لحالة الحماية بطبقتين:

$$Q_F = 2.666 \frac{y^{2.769} S^{-0.485}}{D_m^{0.269}} \quad \dots\dots (10)$$

يوضح الشكلان (5\_أ) و (5\_ب) المقارنة بين قيم تصريف الفشل المحسوبة من المعادلتين (9) و (10) والمقاسة مختبرياً مع توضيح خط التوافق الأمثل.



الشكل (5- أ): مقارنة بين قيم تصارييف فشل السلال الحصوية المحسوبة من المعادلة (9) والمقاسة مختبرياً



الشكل (5- ب): مقارنة بين قيم تصارييف فشل السلال الحصوية المحسوبة من المعادلة (10) والمقاسة مختبرياً

### 5. الطريقة التصميمية لحساب تصريف فشل السلال:

إن التصريف التصميمي يجب أن يكون أقل من تصريف الفشل المحسوب من المعادلتين (9) و(10) وذلك بأخذ عامل أمان تصريفي لا يقل عن (1.5) لكي تكون طبقة الحماية المستخدمة في حماية جوانب القناة آمنة ومستقرة، ومن أهداف البحث هو الحصول على طريقة تصميمية لحماية القنوات المفتوحة باستخدام السلال. أما الطريقة المتبعة في التصميم فتتضمن الخطوات الآتية:

يحدد التصريف الأقصى الذي يمر في القناة المراد حمايتها عن طريق إجراء دراسة شاملة للموقع. اختيار ميل ملائم لجوانب القناة، وعلى أساس أن الميل ذات القيمة الواطئة تعطي استقراراً أكبر من الميل ذات القيم العالية.

يحدد حجم الحجر أو الحصى ( $D_m$ ) المستخدم في ملئ السلال ، ويفضل أن يكون متوافراً في موقع العمل أو قريباً منه؛ لتقليل كلفة النقل ويحدد عدد طبقات الحماية، ويفضل استخدام طبقة واحدة في البداية. يحسب عمق الجريان من المعادلة الآتية التي تم الحصول عليها عن طريق إدخال بيانات عمق جريان الفشل، ومعدل قطر الحجر، وميل جوانب القناة وحالتي الحماية بطبقة وطبقتين في برنامج (SPSS) الإحصائي:

$$y = 0.771D_m^{0.34} S^{0.12} \dots\dots\dots (11)$$

إيجاد تصريف الفشل من المعادلتين (9) و(10) ، ويجب أن يكون تصريف الفشل أكبر من التصريف الأقصى ، أي أن حاصل قسمة تصريف الفشل المحسوب إلى التصريف الأقصى يساوي أو أكبر من (1.5). وفي حالة عدم تحقيق ذلك يتم اللجوء إلى اختيار حجم أكبر للحجر ، أو زيادة عدد طبقات الحماية، وفي حالة عدم تحقيق ذلك أيضا يتم اللجوء إلى تغيير ميل جوانب القناة.

## 6. الاستنتاجات:

أن أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من هذا البحث هي :  
إن نمط الفشل السائد والملاحظ أثناء التجارب المختبرية هو زحف السلال الحصوية أو انقلابها نتيجة لحركة الحصى داخل السلة. وتركز موقع الفشل في الثلث الوسطي والأخير للقناة الرملية وان معظم السلال الحصوية المنحرفة كانت في القسم السفلي من جوانب ميل القناة القريبة من منطقة اتصال قعر القناة بجانبيها. وقد كانت حركة السلال الحصوية عشوائية وغير منتظمة بحيث لا يمكن توقع عدد السلال المتحركة، موقعها أو زمن حدوث الحركة أثناء إجراء التجربة. إن تصريف فشل طبقة الحماية بالسلال الحصوية يتناسب طردياً مع كتلة السلة، وعدد طبقات الحماية . وعكسياً مع ميل جوانب القناة، فقد تم الحصول على المعادلتين (2) و (3) التي تربط تصريف الفشل بكل من كتلة السلة وميل جوانب القناة، ولحالة الحماية بطبقة واحدة وطبقتين من السلال الحصوية. يمكن الاستنتاج عن طريق النسب المئوية للزيادة في تصريف فشل طبقة الحماية بالسلال الحصوية إن زيادة كتلة السلة الحصوية لميل جوانب القناة نفسه هو أفضل من الناحية التصميمية من زيادة عدد طبقات الحماية وللميل نفسه كونه أعطى استقراراً أكبر (تصريف فشل أكبر)، فضلاً عن الجانب الاقتصادي لأن زيادة عدد طبقات الحماية يستوجب كلفة أكبر من كلفة تغيير كتلة السلة الحصوية.  
تم الحصول على معادلات وضعية (9) و (10) لإيجاد تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية.  
تم اقتراح طريقة تصميمية لإيجاد تصريف فشل الحماية بالسلال الحصوية عن طريق تحديد معدل قطر الحجر المستخدم في ملئ السلال.

## المصادر

1. Maynard, S. T., Ruff, J. F. and Abt., S. R., (1989), "Riprap Design", J. Hydr. Eng., ASCE, 115 (7), 937-949.
2. Maynard, S. T., (1995), "Gabion-Mattress Channel-Protection Design", J. Hydr. Engrg. , ASCE, 121 (7), 519-522.
3. Stefano, C. D., and Ferro, V., (1998), "Calculating Average Filling Rock Diameter for Gabion-Mattress Channel Design", J. of Hydr. Engrg. ASCE, Vol. 124 No. 9, 975-978.
4. Stevens, M. A., Lewis, G. L. and Simons, D. B., (1976), "Safety Factors for Riprap Protection", J. of Hydr. Div., ASCE, 102 (HY5), 637-655.
5. Dawood, B. K., (1999), "Laboratory Study on the Stability of Earth Weirs Protected by Gabions", Ph.D. Thesis, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Mosul University, Mosul, Iraq (In Arabic).
6. Hanson, G. J., Lohnes, R. A. and Klaiber, F. W., (1986), "Gabions Used in Stream Grade-Stabilization Structures", Transportation Research Record, No. 1037, 35-42.
7. Technical Paper, (1987), "Maccaferri Gabions", Printed by Reno Grafica Balogna, Italy.
8. Technical Paper, (2001), "Gabions Baskets and Rock Mattresses", Printed by GEOTAS, 14 Chesterman Street Moonah Tasmania.
9. Herman, J. K., (1984), "Scour Due to Riprap and Improper Filters", Proc. Hydr. Div, ASCE, 110 (HY10), 1315-1324.
10. Smith, K. V. H., (1979), "Model Testing of Weirs", Report on a Study Made in Collaboration with Sir William Halcrow and Partners, Swindan, February.
11. Ahmed, A. F., (1988), "Stability of Riprap Side Slopes in Open Channels", Ph. D., Thesis, Southampton University, England.