

دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية
باستخدام السلال الصخرية

غنية عبد المجيد حياوي
كلية الهندسة/ جامعة

بهزاد محمد علي نوري
كلية الهندسة/ جامعة دهوك

الموصل

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة مدى ثباتية واستقرار سفح المؤخر للهدارات الركامية المعرضة للجريان الفوقي باستخدام السلال الصخرية وذلك بإنشاء أربع نماذج من الهدارات بميول مختلفة لسفح المؤخر [1V:2.5H,1V:3H,1V:4H,1V:5H] وأجريت ثمانٍ وأربعون تجربة، نفذت لاربعة حالات لوضع السلال الصخرية على سفح المؤخر [وضع السلال الصخرية بطبقة واحدة بدون ربط (M-1)، ربط السلال الصخرية أفقياً (M-H)، ربط السلال الصخرية رأسياً (M-V)، وضع السلال الصخرية بطبقتين بدون ربط (M-2)، وثلاثة أقطار من الحصى [11.11,15.9,22.25] ملم.

من تحليل النتائج تم الحصول على معادلات لحساب تصريف الفشل بدلالة معدل قطر الحصى ، الكثافة النسبية للسلال الصخرية المغمورة، صلادة طبقة السلال الصخرية ، وميل زاوية الوضع للسلال الصخرية لكل حالة من حالات وضع السلال الصخرية على السفح. وتم تقديم طريقة مبسطة لتصميم الهدارات الركامية المحمية بالسلال الصخرية بدلالة أكبر تصريف فشل يمر فوق الهدار وبالاستعانة بمنحنيات تصميمية لكل حالة. كما تم اشتقاق نموذج رياضي يعمد على خواص النموذج الفيزيائي والذي أعطى تصريف فشل قريب من المقاس ولكل ميل من الميول الأربعة. عند مقارنة نتائج الدراسة الحالية مع نتائج الدراسات السابقة تبين بان الهدارات الركامية المحمية بالسلال الصخرية تعطي تصريف فشل أكبر من الهدارات الترابية المحمية بالسلال الصخرية .

الكلمات الدالة:- السلال الصخرية، الهدارات الركامية

**Laboratory Study Of Protecting Downstream Slope Of Rockfill Weirs
Using Gabions**

Bahzad Mohammad Ali Noori

Ghania Abed Al-Majeed Hayawi

Abstract

In the present research, the stability of rockfill weirs protected by gabions and subjected to overtopping flow rates under the effect of high flow rates has been studied experimentally. Four weir models with different downstream slopes [1V:2.5H,1V:3H,1V:4H,1V:5H] were constructed and tested. Forty eight experiments were conducted for four cases of gabions laying on the downstream

slope[laying gabions with one layer and no connections (M-1),laying gabions with lateral connections (M-H),laying gabions with longitudinal connections (M-V), laying gabions with two layers(M-2] using three gravel diameters (11.11,15.9 and 22.25)mm. From the data analysis, many equations were obtained for the estimation of failure unit discharge in terms of equivalent gravel diameter, relative submerged intensity of gabions, gabions layer solidity, and tangent of internal friction angle of gabions, for each case of gabions laying. A simple method was presented for the design of rockfill weirs protected by gabions in terms of maximum failure discharge with the help of design charts obtained from the present study.

A mathematical model depending on the characteristics of the physical model was derived for each slope giving failure unit discharge values that agree quite well with the experimental values.

Comparing results of the present study with those of other investigations shows that rockfill weirs protected by gabions stand higher failure unit discharge than earth weirs protected by gabions.

يرجع بناء السدود إلى ما يقارب (4000) سنة قبل الميلاد، حيث تم بناؤها لغرض خزن المياه لاستخدامها في ري الحقول الزراعية ولغرض الحفاظ على ثباتية واستقرارية سفح المؤخر للمنشآت الركامية المعرضة للجريان الخلاي والفوقي وتم تسليحها أحياناً باستخدام شبكة حديدية أو رصفها بالصخور الكبيرة أو تغطيتها بالسلال الصخرية (Gabions) التي تتميز باحتفاظها بنفس نفاذية المواد الركامية المشابهة ولكن بثباتية أكبر من ثباتية الصخور المنفردة [1]. إن استخدام المواد الركامية لبناء الهدار ذاتي المسيل تمثل خطوة هامة ومتقدمة في مجال تصميم وبناء المنشآت الركامية [2]. يتم في هذا النوع من الهدارات خزن قسم من الماء بينما يمر القسم الآخر كجريان خلاي أو فوقي عبر الهدار الركامي. وتعد هذه الطريقة أكثر اقتصادي من الطرا ق القديمة لإنشاء الهدارات الركامية للأسباب الآتية:- ه الركامية ذاتية المسيل تسمح بعبور الماء من خلالها وفوقها لذلك فعند إنشائها

لتصميم وبناء مسيل مائي تقليدي نظراً لتبديد طاقة الماء وتهدئتها أثناء مروره الهدار مما يؤدي أيضاً إلى عدم الحاجة لتصميم وبناء حوض تهدئة. السلال الصخرية عبارة عن أكياس مشبكة صندوقية أو أسطوانية مملوءة بالصخر أو الركام [3] والتي عادةً تستخدم في بناء المنشآت الهيدروليكية مثل السدود والأسنان الصخرية لتهديب الأنهار وكمبددات للطاقة وبناء الجدران الساندة وكذلك في حماية تعرية [4]. [5] تستخدم السلال الصخرية في المواقع التي توجد فيها مواد ركامية ناعمة وغير قادرة على حماية المنشآت من التآكل وقوة السحب ومن الناحية الاقتصادية عند عدم توفر المواد الصخرية ذات الأحجام الكبيرة أي تكون كلفة نقلها من مناطق بعيدة أكثر لال الصخرية وعادةً السلال الصخرية تحتاج إلى (3/1) بالتكسية الحجرية [6] (Riprap).

بين الباحث ، (Smith ,1979)^[7] في دراسة مبسطة على فرشاة السلال الصخرية الحرة هدارات ترابية وبميل لسفح المؤخر (1V:10H) أنها تفشل بسرعة حيث ترتفع حافتها العليا بفعل التيار عندما تستعمل لحماية سفح المؤخر للهدار. أعاد الاختبار مرة بربطها مع بعضها من الأعلى والأسفل فلاحظ بأن الفرشة تزحف جميعها إلى الأسفل وبمعدل أقل من معدل الجريان المطلوب لتنفيذه لهذا هو لحصول على أقل كلفة محتملة لمادة الحماية للهد الترابية ستيفنسون (Stephenson,1980)^[8] في دراسته عن استقرارية السلال الصخرية في الهدارات أن الفشل يحصل إما نتيجة الانقلاب (Overturning) أو نتيجة زحف السلال الصخرية (Sliding) وهذه يمكن حلها رياضياً حيث وجد علاقة لكل حالة من حالات الفشاً جيروديتي (Gerodetti,1981)^[9] للسد الوقتي الصخري في المحطة الكهرومائية في هندوراس من الناحية الهيدروليكية والذي تم بمقياس (1:100) ويتكون من ركيزة تعمل كجدار مانع وقد تم حماية السفح والقمة وجزء من سفح لسلال الصخرية المسلحة والبالغ عددها (37) وقد ثبت في جسم هدار للتغلب على مشكلة رفع السلة الصخرية وحركتها من مكانها حيث ان الجريان الحاصل في جسم هدار يسبب حدوث تسرب قوي يعمل على دفع السلة الصخرية إلى الأعلى وهذا ما يسبب في تقليل وزن السلة الصخرية، وكذلك قام الباحث ، (Dawood ,1999)^[10] بإجراء دراسة مختبرية لاستقرارية الهدارات الترابية باستخدام السلال الصخرية حيث تمكن من دراسة العوامل المختلفة التي سلوكية السلال الصخرية مثل السلة الصخرية الصخرية ميل سفح المؤخر ومعدلاً قطر الحصى وقد أنشأت نماذج بميول مختلفة لسفح المؤخر تتراوح بين (1V:10H) (1V:3H).

2- النموذج الرياضي:-

الرياضيات يمكن م الفرضيات الآتية:- طبقة الحماية تتكون من صخرية تحتوي مواد ذات نفاذية عالية وان الفراغات تكون جميعها مملوءة بالماء الحماية تعمل جميعها ككتلة واحدة. ولغرض تبسيط المتغيرات تم تعريفها كالآتي:-
 $a'' =$ صلادة طبقة السلال الصخرية المستخدمة للحماية لكل نوع من الحصى، $b' =$ مادة
 الحماية للسلة الصخرية و $h =$ الحماية و $S =$ ميل سفح المؤخر $d_c =$ عمق الماء الحرج

نوري : دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية

الكثافة الوزنية للحصى و $\gamma_w =$ الكثافة الوزنية للماء، و السلة الصخرية و

$$(a^n \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) = A)$$

قسمين القسم الأول يتعلق بالعمق الطبيعي للماء والقسم الثاني يتعلق بالقوى المؤثرة على .

1.2 معادلة عمق الماء الطبيعي (d_n)

الطبقة من مادة الحماية على سفح المؤخر (h) يمثل سمك طبقة السلة الصخرية من قعر الطبقة المحمية والى قعر العمق المفروض للمجرى. فبهذا تكون كتلة الطبقة لكل وحدة مساحة سطحية تساوي [7]:-

$$M = a^n \rho_s h$$

... (1)

$\rho_s =$ الكثافة الكتلية للحصى (r') يتم الحصول عليها من العلاقة الآتية :

$$Ds = r' = b'h$$

... (2)

$Ds =$ معدل قطر الحصى و ويمكن التعبير عن معامل ماننك لخشونة الـ n_s العلاقة الآتية [7]:

$$n_s = 0.153 \frac{(r')^{1/6}}{\sqrt{g}}$$

... (3)

-:

$g =$ التعجيل الأرضي وان السرعة في القنوات المفتوحة تساوي:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

... (4)

= V = معدل سرعة جريان على سفح المؤخر للهدارات الركامية = معامل ماننك لخشونة القعر = R
نصف القطر الهيدروليكي ويمكن التعبير عن التصريف لكل وحدة عرض (q) للقنوات العريضة)
: $(R \approx d_n)$

$$q = \frac{1}{n} \times d_n^{5/3} \times S^{1/2}$$

... (5)

: dn - العمق الطبيعي للماء ويمكن حساب (q) :

$$q = g^{1/2} \times d_c^{3/2}$$

... (6)

المعادلتين (5) (6) ينتج:

$$d_n^{5/3} = n \times g^{1/2} \times \frac{d_c^{3/2}}{S^{1/2}}$$

... (7)

وبتعويض المعادلة (3) (7) $(n = n_s)$ ين : (7)

$$\therefore d_n = C \left[\frac{r^{1/10} d_c^{9/10}}{S^{3/10}} \right]$$

... (8)

= C = $(0.153)^{3/5} = 0.3242$ يمثل ثابت مقاومة الجريان نتيجة الخشونة.

2.2 تحليل القوى المؤثرة على سفح المؤخر المسببة للفشل:

$$(1) \quad \text{هي (F) :}$$

...(9)

$$F = W_1 \sin \theta + W_{wg} \sin \theta + W_w \sin \theta + F_s \cos \theta$$

$$\begin{aligned} &= W_1 \text{ وزن الحصى داخل للسلة الصخرية} \\ &= W_{wg} \text{ فوق السلة الصخرية} \\ &= F_s \text{ الصخرية } W_w \end{aligned}$$

تحسب هذه القوى لكل وحدة مساحة ، حيث مساحة السلة الصخرية $(a_L \times b_L)$ (a_L) السلة الصخرية و (b_L) طول السلة الصخرية . كل هذه القوى واجه مقاومة ممثلة بقوة الاحتكاك (FR) والناتجة من المركبة العمودية () السلة الصخرية + (السلة الصخرية +)

$$FR = (W_1 \cos \theta + W_{wg} \cos \theta + W_w \cos \theta - F_s \sin \theta) \times \tan \phi_g$$

...(10)

:- θ = زاوية ميل السفح المؤخر و ϕ = زاوية الوضع للسلة الصخرية.

عند بداية الزحف

=

$$(a'' \gamma_s h + (1 - a'') \gamma_w h + \gamma_w d_n) \times \sin \theta + I \gamma_w h \cos \theta =$$

$$[(a'' \gamma_s h + (1 - a'') \gamma_w h + \gamma_w d_n) \cos \theta - I h \gamma_w \sin \theta] \tan \phi_g \quad \dots$$

(11)

:-

$$I = \frac{dh}{dl}$$

= I = الانحدار الهيدروليكي و dh = هدار و dl = بين مقدم هدار.

$$\left(a'' \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) h + h + d_n \right) S + Ih = \left(a'' \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) h + h + d_n \right) \tan \phi_g - IhS \tan \phi_g \quad \dots$$

(12)

-:

$$s = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

يمكن التعبير عن $a'' \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)$ فلذا يمكن كتابة المعادلة (12)

$$\frac{d_n}{h} (\tan \phi_g - S) = K_2 \left[\frac{S}{\tan \phi_g} + \frac{I}{K_2} + \frac{IS}{K_1} - 1 \right]$$

... (13)

= K_1, K_2 -:

$$K_1 = (1 + A)$$

$$K_2 = (1 + A) \tan \phi_g$$

وبتعويض المعادلة (8) ينتج (13) :

$$\left(\frac{d_c}{h} \right) = \left[\frac{K_3 S^{3/10}}{(\tan \phi_g - S)} \left(\frac{S}{\tan \phi_g} + \frac{I}{K_2} + \frac{IS}{K_1} - 1 \right) \right]^{10/9}$$

... (14)

-:

$$K_3 = \frac{K_2}{Cb'^{0.1}}$$

3- العمل المختبري

ي العمل المختبري نماذج لهدارات ركامية بميول مختلفة لسفح المؤخر هـ
 (1V:2H) (1V: 5H, 1V: 4H, 1V:3H, 1V:2.5H) على التوالي وبميل ثابت لسفح الـ
 (2).تم بناء النماذج يساوي عرض القناة المختبرية التي تم بناء
 هدار فيها (81) هـ (50) سم مع وضع حاجز غير نفاذ بعرض القناة
 ع من مادة البلاستيك و (6) ملم تم تثبيته في إطار حديدي مثبت
 الصخرية المستخدمة لحماية سفح المؤخر للهدار كانت بأبعاد (25 × 20) تم تصنيف هذه
 مجاميع اعتماداً على ميول سفح المؤخر للهدار المشار إليه أعلاه. كل مجموعة تتضمن
 (11.11 15.9 22.25 = Ds)
 الفحص أربع مرات للنموذج الواحد وكما يأتي ((M - 1) قيمة NL = 1 بدون ربط السلال الصخرية
 مع بعضها وبطبقة واحدة، (M - H) قيمة NL = 1 بربط السلال الصخرية أفقياً مع بعضها
 (M - V) قيمة NL = 1 بربط السلال الصخرية رأسياً مع بعضها (M - 2)
 قيمة NL = 2 بدون ربط السلال الصخرية مع بعضها وبطبقتين (NL تمثل عدد طبقات السلال
 الصخرية. تحديد موقع هدار (15) الهدار
 قطر يساوي (11.11) [11]. (1) يبين بعض الأبعاد المهمة في إنشاء

4- القناة المختبرية:-

أجريت التجارب قناة مشيدة من الخرسانة ذات قعر ثابت بطول (24.64) (0.81)
 (0.75) (3).مثبت على جداري القناة مقاطع حديد () على شكل
 زاوية وبصورة أفقية تستخدم لتثبيت مقاييس العمق (Point Gauges) عليها. يتصل مقدم القناة بحوض
 التغذية (2.25 × 1.25) (1.2) . يصل الماء إلى الحوض بوس
 (15.24) سم مثبت عليه صمام للسيطرة على التصريف ويد
 من خزان أرضي في
 المختبر عن طريق مضخة يصل تصريفها التصميمي إلى (100) /ثانية. على بعد (2.5)
 بوابة الكسح التي تبلغ أبعادها الداخلية (1 × 0.81) وإطارها الخارجي مصنوع من
 الحديد وصفيحة معدنية سمكها (4) ملم ولها خاصية الحركة إلى الأعلى والأسفل عن طريق قضيب
 . تم تثبيت مقاييس العمق على القناة لغرض قياس منسوب سطح الماء وعمق الماء الذليل. يتصل
 بنهاية القناة حوض التصريف (8) (1.2) (0.8) . يوجد في نهايه
 (1.84) (0.5) متر ثبت فيه هدار حديدي بمقطع (18 × 50)
 (0.6) سم لقياس تصريف الماء في القناة. وفي الجهة اليسرى للحوض وعلى بعد (1.75)
 مقدم الهدار يوجد بئر مراقبة من الخرسانة بأبعاد (15سم × 15سم) وبعمق

(0.6) متر ذو وجه زجاجي لكي يمكن ملاحظة وقياس منسوب سطح الماء فوق الهدار بواسطة مقياس مثبت على الوجه الزجاجي منه. تم وضع مطفح على أحد جانبي القناة بأبعاد (34 × 34) (1.94) متر من بداية القناة
تصريف مستقر مع الزمن وكما مبين في الشكل (3).

5- مواصفات المواد المستخدمة في التجارب :-

1.5 - مواصفات الحصى: الهدار والسلال الصخرية هي من الحصى النهري تم اختياره بمديات قليلة من المناخل لكي يتمكن من الحصول على الحجم المطلوب للحصى. تمت عملية الفصل بتمرير الحصى من منخل معين وارتداده على منخل آخر حسب المواصفات وعند ذلك فإن الحجم المطلوب للحصى هو معدل حجم المنخلين . إن زوايا الاحتكاك الداخلي للحصى (ϕ) يمكن الحصول عليها باستخدام الطريقة التي تعتمد على قياس زاوية الاستكانة (Angle of Repose) (2) وقد كانت ضمن الحدود التي أشار إليها الباحثان سايمونز [12].

2.5 مواصفات السلال الصخرية:-

تم صنع السلال الصخرية المستخدمة في التجارب لحماية سفح المؤخر للهدار في لمختبر من نوع خاص من أكياس النايلون المشبكة ؛ (0.5) (5) . هذه الأكياس تم إعدادها على شكل حقائب مستطيلة الشكل وبأبعاد (25 × 20سم) ملئت بالحصى المطلوب إلى أن نحصل على صخرية بمقدار (D_s) بعدها حُدد وزن السلة الصخرية وكل . إن طريقة وضع السلال الصخرية على سفح المقدم والمؤخر كانت على النحو الآتي: في بداية سفح المؤخر أربعة سلال صخرية ثم يليها في المفاصل متخالفة كما مبين في (4). تم تحديد الصلادة (a') (Solidity) (صلادة طبقة السلة الصخرية) لكل نوع من الحصى من المعادلة الآتية [7]:-

$$a' = \frac{m}{a_L b_L \rho_s h}$$

.. (15)

:- m = كتلة السلة الصخرية. وقيم الصلادة للسلال الصخرية تم توضيحها في الجدول (3)

6-التجارب المختبرية :-

تتلخص خطوات إجراء التجارب المختبرية بما يأتي:-

- 1- السلال الصخرية على الهدار () و انتهاءً بمقدمه ()
- 2- تم تجهيز الماء (تشغيل المضخة) للقناة والتحكم بالتصريف الداخل إلى القناة عن طريق القفل الموجود في بداية القناة والبوابة. حيث ي

المطلوبة وهي الماء الذيلي و ارتفاع الماء فوق الهدار الموجود في نهاية القناة وبعد نصف ساعة يتم تغيير التصريف وتتم ملاحظة حركة السلال الصخرية نيفة وكذلك حركة الحصى الموجود داخل السلة الصخرية وتستمر التجربة بتغيير التصريف كل نصف ساعة إلى أن يحدث الفشل أي تلاحظ حركة السلة الصخرية من زحف أو تسجل هذه القراءات ويتم حساب تصريف أو ويؤخذ معدل للتصريف خلال الفشل وقبله. بعد زيادة كل تصريف فإن حركة السلال الصخرية تلاحظ بدقة ويسجل عدد السلال الصخرية المتحركة ورقم أو السلال الصخرية وفي أي صف بدأ الانهيا وتصور هذه الحالات وكما مبين في اللوح (1).

7- تحليل ومناقشة النتائج المختبرية

1.7 العوامل المؤثرة على تصريف الفشل

1.1.7 ميل Downstream Slope

إن إحدى الأهداف الأساسية للبحث هي دراسة تأثير ميل سفح المؤخر على تصريف الفشل رسمت العلاقة بين الميول وتصريف الفشل لحالات وضع السلال الصخرية على سفح المؤخر (-5) (-5) والعلاقة التي تربط تصريف الفشل وميل سفح المؤخر يمكن كتابتها :-

$$q_f = a_1 S^{b_1}$$

... (16)

$q_f =$ تصريف الفشل

$a_1, b_1 =$

ويلاحظ (16) أن تصريف يزداد كلما يقل ميل سفح المؤخر وهذا ما لوحظ فعلاً (-5) (-5) (-5) وهذا يعني زيادة تصريف يؤدي إلى زيادة سرعة الجريان أو يؤدي إلى زيادة تحريك السلة الصخرية على ويلاحظ من الجدول (4) أن العلاقة التي تربط بين تصريف الفشل وميل سفح المؤخر علاقة عكسية حيث يتراوح معامل التحديد (R^2) بين (0.765) (0.982).

2.1.7 كتلة السلال الصخرية

للسلال الصخرية بثلاث

المختبرية أنه السلة الصخرية زاد تصريف الفشل وإن الزيادة في قطر الحصى المستخدم يسبب زيادة في السلة الصخرية و زيادة مركبة قوى الوزن العمودية على الجريان التي بدورها تؤدي إلى زيادة مقاومة () . رسمت العلاقة بين تصريف الفشل السلة الصخرية والميول هدار (1V:2.5H) (1V: 5H) (M-2 , M-V ,) رية كالآتي:- (M-H , M-1) وكانت العلاقة التي تربط تصريف الفشل

$$q_f = a_2 W_g^{b_2} \dots (17)$$

السلة الصخرية $= W_g = b_2, a_2$:
 وقد تم إيجاد قيم (b_2, a_2) التحديد (R^2) وكما مبينة في الجدول (5).
 الجدول يتبين بأن هناك علاقة طردية بين تصريف الفشل وكتلة السلة الصخرية حيث يتراوح معامل التحديد (R^2) بين (0.774) (0.999).
 السلة الصخرية لميل (1V:2.5H) لميل (1V:5H) على التوالي، ومن هذه يتبين أن تصريف الفشل يزداد بزيادة السلة الصخرية ونقصان الميل.

3.1.7 ربط السلال الصخرية مع بعضها:-

إن ربط السلال الصخرية مع بعضها سواء كان ربط أفقياً (M-H) رأسياً (M-V) يؤدي إلى زيادة تصريف الفشل حيث يزداد تصريف الفشل في حالة ربط السلال الصخرية مع بعضها البعض أفقياً أو رأسياً ويعزى سبب ذلك بأن حالة الفشل لا تحدث إلا عند حركة المجموعة المربوطة كلها مع بعضها م الهدار تحت السلال الصخرية وهذا يحتاج إلى تصاريح أكبر للحدوث لاسيما

2.7 معادلات تصريف الفشل لوضع السلال الصخرية:-

إن العوامل المؤثرة على تصريف الفشل كثيرة منها ميل سفح المؤخر (S) الصخرية (NL) ظل زاوية الوضع للسلة الصخرية ($\tan \phi_g$) صلادة طبقة السلة الصخرية (a') (D_s) التعجيل الأرضي (g) الكتلية ل (ρ_w) الكتلية (ρ_s) ($\rho_s - \rho_w$) إن تصريف الفشل للهدار (μ).
 المحمي بالسلال الصخرية يكون دالة لهذه المتغيرات.

$$q_f = f_1(S, NL, \tan \phi_g, a', D_s, g, \rho_w, \rho_s - \rho_w, \mu) \dots (18)$$

عملية التحليل وباستخدام نظرية باي [Pi-Theorem] يمكن صياغة العلاقة (18)

:-

$$\frac{q_f}{g^{1/2} D_s^{3/2}} = f_2 \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, \text{Re}, (NL), \tan \phi_g, a', S \right)$$

... (19)

Re- = رقم رينولد يصف لزوجة الجريان عندما تكون أرقام رينولدز عالية يصل الجريان حالة الاضطراب الكامل عندها يضمحل تأثير اللزوجة في القنوات المفتوحة الخشنة و يمكن إهماله. وبإعادة ترتيب المتغيرات في المعادلة (19) يمكن كتابتها بالشكل الآتي:-

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{e_1} (NL)^{e_2} (S)^{e_3} \dots$$

(20)

Re- = أسس المتغيرات = e_3, e_2, e_1 يمثل معامل تصريف الفشل تم إيجاد قيم الأسس (e_3, e_2, e_1) عن طريق إدخال البيانات لك المتغيرات وباستخدام طري (Regression) (SPSS VER 10) في حالة وضع السلال الصخرية على سفح المؤخر بشكل (M-1, M-2):

... (21)

حيث إن قيمة

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{2.56} (NL)^{0.28} (S)^{-1.4}$$

0.981 = C_s ومعامل التحديد $(R^2) = 0.904$

(M-V)

وكذلك تم إيجاد معادلات لحالة الربط الأفقي (M-H)

-:

(M-H) -1

... (22)

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{2.6} (S)^{-1.3}$$

حيث إن قيمة $C_s = 1.26$ ومعامل التحديد $(R^2) = 0.86$

(M-V)

-2

$$q_f = C_s g^{1/2} D s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{2.1} (S)^{-0.98} \dots$$

(23)

حيث إن قيمة $C_s = 2.49$ ومعامل التحديد $(R^2) = 0.934$

3.7 زيادة نسبة تصريف الفشل مع عدد الطبقات

إن تصريف الفشل يزداد بربط السلال الصخرية مع بعضها رأسياً على سفح المؤخر للهدار، (6) يوضح النسبة المئوية لزيادة تصريف الفشل مع حالات وضع وربط السلال الصخرية.

4.7 العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى المستخدم

تم دراسة العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى المستخدم بالرجوع إلى الجدول (3) قيم ($a' = 0.597$) ومعدل قيم ($\gamma_s = 26231.94$ نيوتن / m^3) (21 22 23) رسم العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى لكافة الميول (1V:4H 1V:3H 1V:2.5H) (7) (7)، تبين من هذه (1V:5H) ولكافة حالات وضع وربط السلال الصخرية تصريف الفشل يزداد بزيادة قطر الحصى، وأن تصريف الفشل يكون عالياً في حالة ربط السلال الصخرية رأسياً على سفح المؤخر وذلك لأن الربط الرأسى يزيد من كتلة السلال الصخرية ويحد من حركتها الانفرادية مما يؤدي إلى زيادة تصريف الفشل.

8-المقارنة مع دراسات أخرى:-

لأجل المقارنة مع دراسات سابقة تم رسم العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى المستخدم لحالة وضع السلال الصخرية بطبقتين (M-2) وللميل (1V:4H) مع نتائج تصريف الفشل للباحث داود (Dawood, 1999) (8). ويلاحظ من الشكل أن تصريف في الدراسة الحالية أكبر من دراسة الباحث داود وهذا يدل على أن الهدارات الركامية المحمية بالسلال الصخرية تكون كفاءتها أعلى من الهدارات الترابية.

9- طريقة التصميم :- Design Method

الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة هي لحصول على طريقة تصميمية لحماية الهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية ولهذا الغرض فقد تم رسم منحني تصميمي يستفاد منه في الحياة العملية كطريقة تصميمية بسيطة كما في (7) (7) الطريقة التصميمية الخطوات الآتية:-

1- إجراء دراسة شاملة للموقع الذي سيقام فيه الهـ ويقدر معدل الجريان الأعظم المتوقع في ذلك

2- يمكن اختيار ميل مناسب للسفح المؤخر للهـ حيث ن الميول الشديدة () تعطي تصاريف فشل أقل من التصاريف التي تعطيها الميول المنبسطة و بينتها الحالية.

3- يحدد حجم الحصى () السلال الصخرية حسب توفره في موقع العمل أو بالقرب من الموقع كما أن عدد الطبقات يمكن الاستعانة عنها بربط السلال الصخرية أفقياً رأسياً بعضها.

4- يمكن الحصول على تصريف الفشل من المنحنيات (7) (7) العلاقة بين وتصريف الفشل ومن الضروري يساوي (2))

قسمة معدل تصريف الفشل على قيمة الجريان الأعظم يجب أن يكون مساوياً () يتم الـ ل على هـ في هذه الحالة يتم زيادة القطر المستخدم أو زيادة عدد طبقات السلة الصخرية أو كلاهما وإذا لم يتم الـ التصريف المطلوب فيجب اختيار ميل هـدار.

الرياضياتي مبين ولغرض تطبيقه فإنه يتطلب إيجاد المتغيرات من الصخرية الموضوع على سفح المؤخر للهدار وهذا يتم

(1) الذي يبين فيه عدد طبقات السلال الصخرية الموضوع على سفح المؤخر. رية لكل أنواع الحصى المستخدم مبينة في الجدول (3). عندها يتم حساب الكثافة الكتلية ويتم معرفة طول الميل الرئيس للسفح وعرضه (ρ_s)

حيث يـ خذ ارتفاع الطبقة مساوياً إلى القطر (D_s)

المستخدمة كما مبين في الجدول (7). وقيم زاوية الاستكانة (ϕ_g) (3) بعدها يتم فرض قيمة

الحماية (h) يق غايتين الأولى هي الاقتراب من لتصريف الحقيقي المقاس للفشل والثانية يق قيمة عالية لصلادة طبقة السلال الصخرية. وتحسب صلادة السلة الصخرية من المعادلة

(1) حدد خشونة وجه مادة الحماية (b') (2) يكون (r')

مساوياً لـ (D_s) . يتم ب كل من قيم $(h_c, K_3, K_2, K_1, C, A, \tan \phi_g)$

(Matlab). بعد ذلك يتـ حساب قيمة (d_c) (14) و قيم تصريف

(6). قيم تصاريف الفشل المحسوبة مع قيم تصريف الفشل المقاسة وتعاد هذه العملية عدة

يتم الـ ل على قيم متقاربة للتصريف المقاس مع التصريف المحسوب وبعدها يحد

معامل تصحيح تصريف الفشل (C_r) بقسمة تصريف الفشل المقاس على تصريف الفشل المحسوب كما

- (8). ولغرض الحصول على قيمة حقيقية لتصريف الفشل تضرب القيم المحسوبة للتصريف بـ (8) يلاحظ أن قيم (C_f) المي (1V:3H, 1V:4H) (1.05) حيث كانت قيم (C_f) . ت العلاقة بين تصريف (6) 14 وتصريف المقاس من التجارب المختبرية في الشكل (9) القيم (Perfect agreement) .

-10

من هذا البحث تم التوصل الى الاستنتاجات الآتية:-

- 1- تم إيجاد العديد من المعادلات الوضعية التي تربط تصريف الفشل مع ميل سفح المؤخر وكتلة السلال الصخرية وظهر وجود علاقة عكسية بين تصريف الفشل وميل سفح المؤخر للهدار ولوحظ زيادة تصريف الفشل بزيادة وزن السلال الصخرية وعدد الطبقات ومعدل قطر الحصى .
- 2- لحساب تصريف الفشل لكافة حالات وضع وربط السلال الصخرية.
- 3- تم تقديم طريقة تصميمية مبسطة لحماية الهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية وعلى شكل منحنيات تمثل العلاقة بين تصريف الفشل ومعدل قطر الحصى والتي يمكن اختيار حالة وضع وربط السلال الصخرية مع بعضها أو عدم ربطها.
- 4- معرفة الخصائص الفيزيائية الظاهرية للنماذج الخمسة تم اشتقاق نموذج رياضي بناءً على فرضيات معينة لحالة الفشل بالزحف. وتم وضع علاقات رياضية تربط بين المتغيرات وعند تطبيق النموذج الرياضي تم الحصول على تصاريح قريبة من القيم المختبرية وللكتل الثلاثة من السلال الصخرية المدروسة وبمعامل تصحيح لكل ميل من الميول الخمسة والحل الرياضي لحالة الفشل بالزحف هو الآتي:-

$$\left(\frac{d_c}{h}\right) = \left[\frac{K_3 S^{3/10}}{(\tan \phi_g - S)} \left(\frac{S}{\tan \phi_g} + \frac{I}{K_2} + \frac{IS}{K_1} - 1 \right) \right]^{10/9}$$

حيث يحسب عمق الماء ومنه يحسب تصريف ومن ثم يضرب في معامل التصحيح.

5- من ملاحظة التجارب المختبرية التي نفذت تبين أن الفشل بالزحف هو الأكثر حدوثاً من الفشل

6- ربط السلال الصخرية مع بعضها يمنعها من الحركة الانفرادية والعشوائية.

11- المصادر

- [1]- AL- Mohammad, F.M.D.,1991,“ An Experimental Study of the Downstream Slope Stability with Overflow Rockfill Embankments”, M.Sc.Thesis, Department of Irrigation and Drainage Engineering , Mosul University, Mosul, Iraq (In Arabic).
- [2]- Parkin, A.K., Trollope, D., and Lawson, J.D., 1966, “Rockfill Structures Subject to Water Flow”, Journal of Soil Mechanics and Foundation, Division., ASCE, November.
- [3]- Freeman, G.E.,and Fischenich, J.C., 2000, “Gabion for Stream Banks Erosion Control” , Engineering Research and Progress, U.S. Army Engineer Research.
- [4]- Stefano, C.S., and Ferro, V., 1998, “Calculating Average Filling Rock Diameter for Gabion- Mattress Channel Design”, Journal of Hydraulic Engineering ASCE, Vol. 124, No. 9. PP. 975-978 September.
- [5]- Yoon, T.H.,"Wire Gabion for Protecting Bridge Piers", 2005, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, Issue11, PP.942-949, November.
- [6]- Maynard, S.T., 1995, “Gabion – Mattress Channel Protection Design”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 7, PP. 519-522, July.
- [7]- Smith, K.V.H., 1979, “Wadi Surdud Model Testing of Weirs” Report on a Study Made in Collaboration with Sir William Halcrow and Partners, Swindan, February.
- [8]- Stephenson, D., 1980, “The Stability of Gabion Weirs”, International Water Power and Dam Construction Vol. 32, No.4 April, PP. 24-28.
- [9]- Gerodetti, M., 1981, “Model Studies of an Over-Topped Rockfill Dam”, International Water Power and Dam Construction, Vol. 33, No. 90.
- [10]- 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).
- [11]- ASTM standard, 1972, “Method for Particle Size Analysis of Soils” Designation, D422-63, PP. 112-122.
- [12]- Simons, D.B.,and Senturk ,F., 1976,"Sediment Transport Technology",Water Resources Publications, Fort Collin,Colorrado,U.S.A.

(1): الأبعاد المهمة في النماذج المستخدمة.

1V:5H	1V:4H	1V:3H	1V:2.5 H	الميل	
2.5	2.0	1.50	1.25	()	1 المسافة الأفقية
0.5	0.5	0.5	0.5	()	2 المسافة الرأسية
2.55	2.06	1.58	1.346	()	3 طول الميل الرئيسي لسفح المؤخر
10.2	8.24	6.32	5.38		4
40.8	32.96	25.28	21.536		5 عدد السلال الصخرية على السفح NL=1
81.6	65.92	50.56	43.04		6 عدد السلال الصخرية على السفح NL=2
11.31	14.04	18.44	21.8	()	7 زاوية الميل

(2): في الهدار والسلة الصخرية

θ	D_s	يرتد على منخل	يمر من منخل	
	()	()	()	
32.0	11.11	9.52	12.7	A
32.8	15.90	12.7	19.1	B
34.0	22.25	19.1	25.4	C

(20 × 25)

الصخرية

(3)

α_0	a'	ρ_s ($^3 /$)	(3)	()	D_s ()
34.2	0.716	2.638	398	1050	11.11
35.4	0.576	2.664	458	1220	15.9
36.7	0.500	2.720	555	1510	22.25
35.4	0.597	2.674	470.33	1260	

M-2	M-V	M-H	M-1
-----	-----	-----	-----

الجدول (4) قيم المعاملات (a₁ و b₁) ومعامل التحجيب (R²) للمعادلة (16).

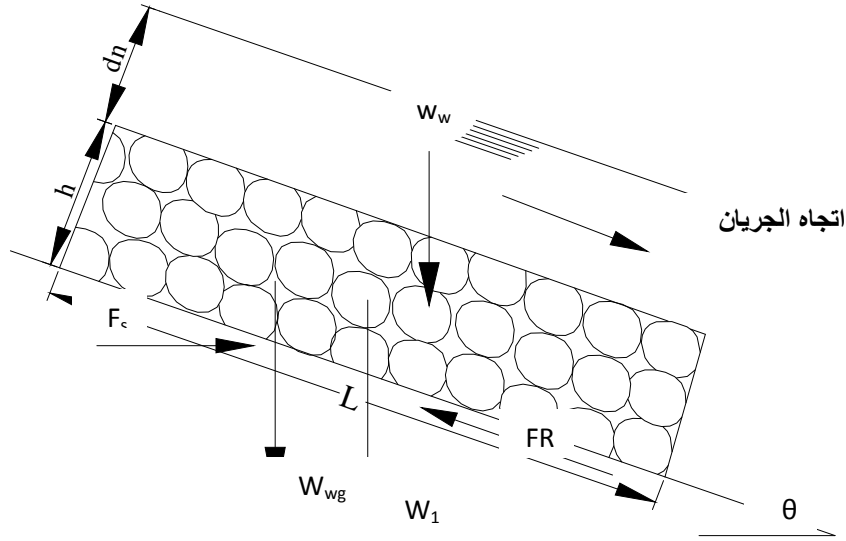
الجدول (7) : كتلة و كثافة طبقة السلة الصخرية لكل الخلطة

1V:5II	1V:4II	1V:3II	1V:2.5II	الميل
ρ_{gr}^3 كجم/م ³	M ² كجم/م ²	ρ_{gs}^3 كجم/م ³	M ² كجم/م ²	كتلة السلة الصخرية (كجم)
1866.85	20.74	1866.85	20.74	1.050
1515.65	24.099	1515.65	24.099	1.220
1340.55	29.827	1340.55	29.827	1.510

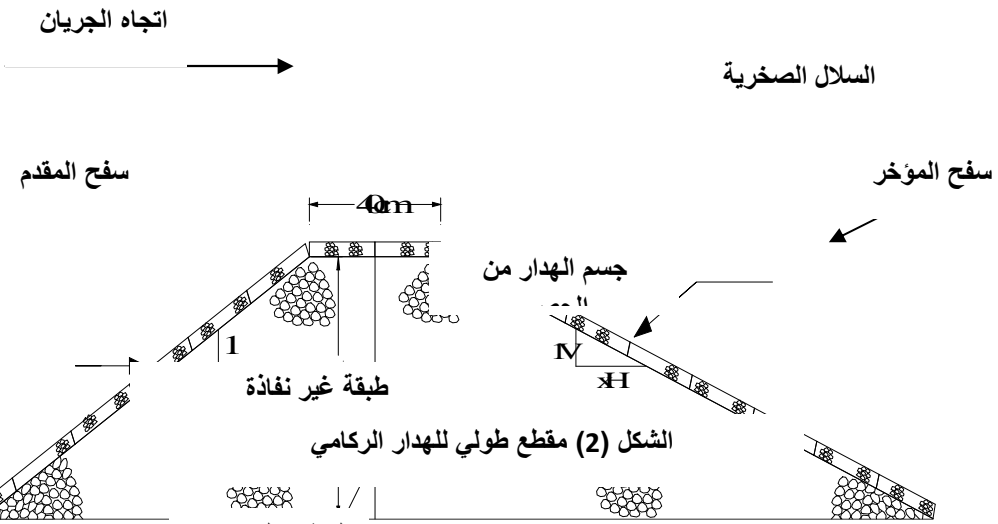
الجدول (8) : معامل تصحيح تصريف القفل (C_f) للنموذج الرياضي.

(IV : 5H)		(IV : 4H)		(IV : 3H)		(IV : 2.5H)		الميل
C _f	قوة التصويب (ق.م/م ²)	C _f	قوة التصويب (ق.م/م ²)	C _f	قوة التصويب (ق.م/م ²)	C _f	قوة التصويب (ق.م/م ²)	كتلة السلة الصخرية (كجم)
1.023	16.52	0.899	13.8	0.932	9.2	1.241	4.19	1.050
1.115	18.9	1.188	13.7	1.09	11.2	1.336	4.59	1.220
1.087	26.4	1.137	21.1	1.18	14.3	1.29	5.24	1.510

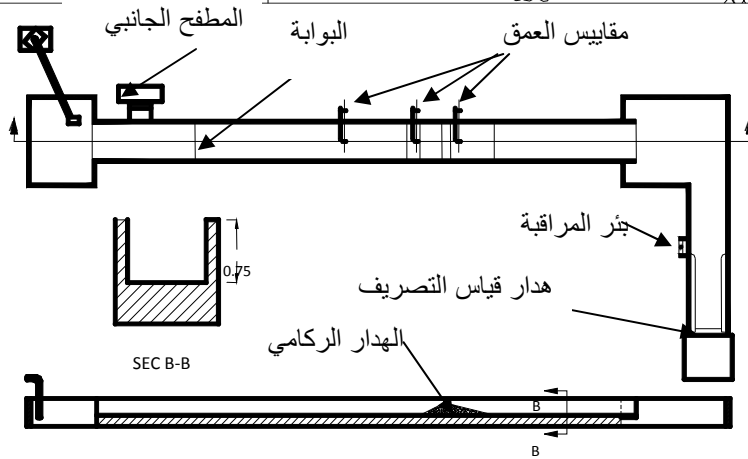
الجدول
حالة و
الميل



الشكل (1) القوى المؤثرة في طبقة السلة الصخرية

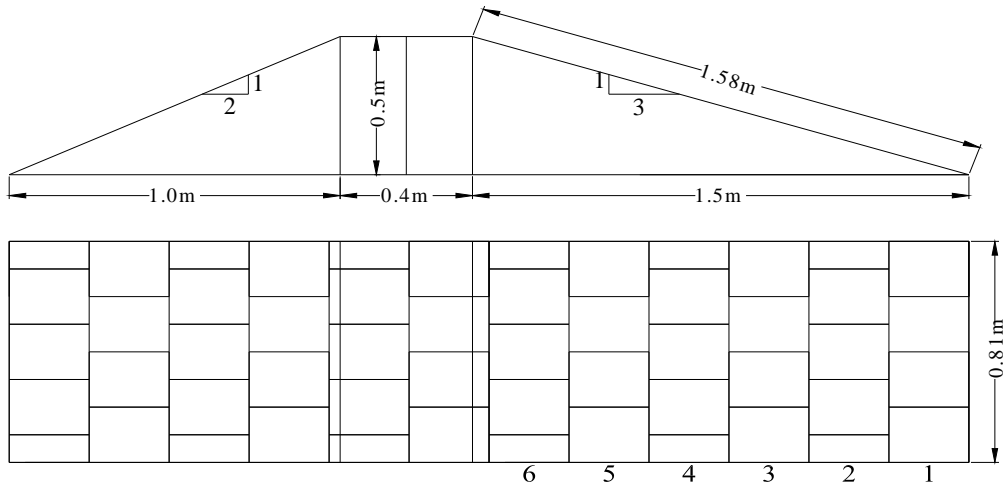


الشكل (2) مقطع طولي للهدار الركامي

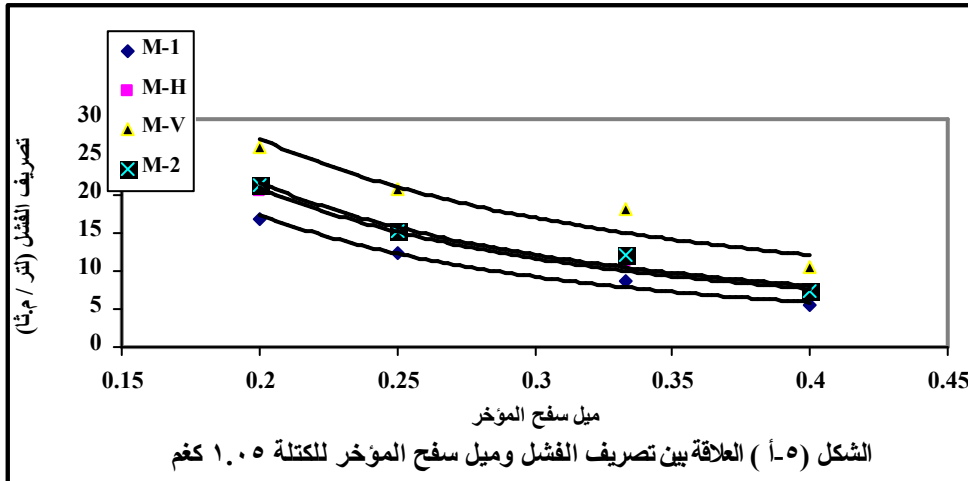


الشكل (3) القناة المختبرية

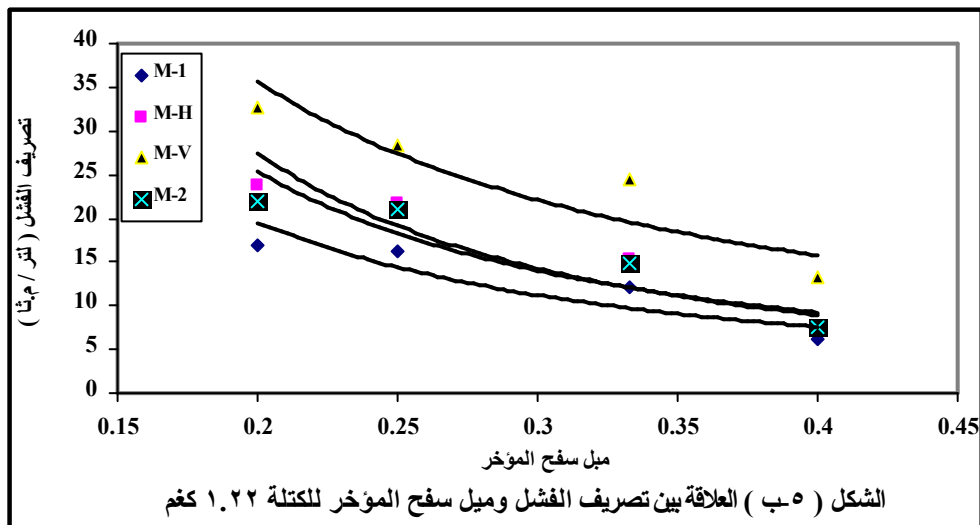
نوري : دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية



الشكل (4) منظر جانبي للهدار الركامي مع المسقط الافقي يوضح السلال الصخرية للميل (1V:3H)

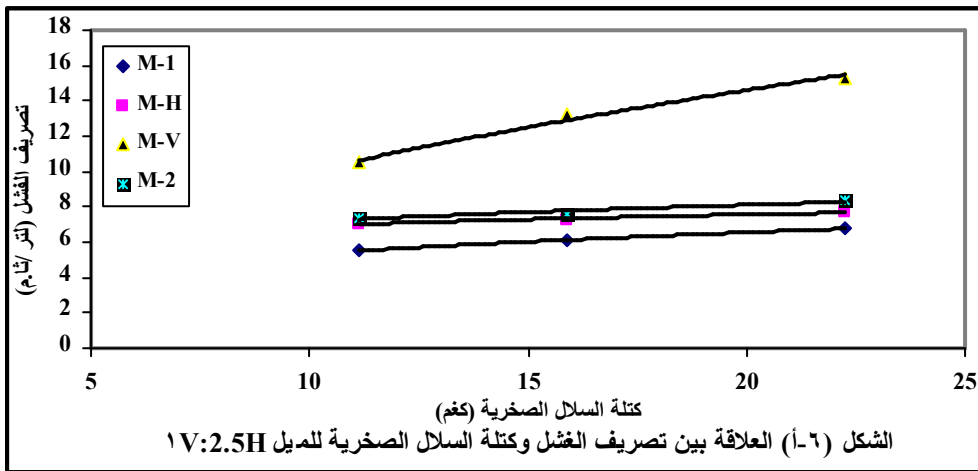
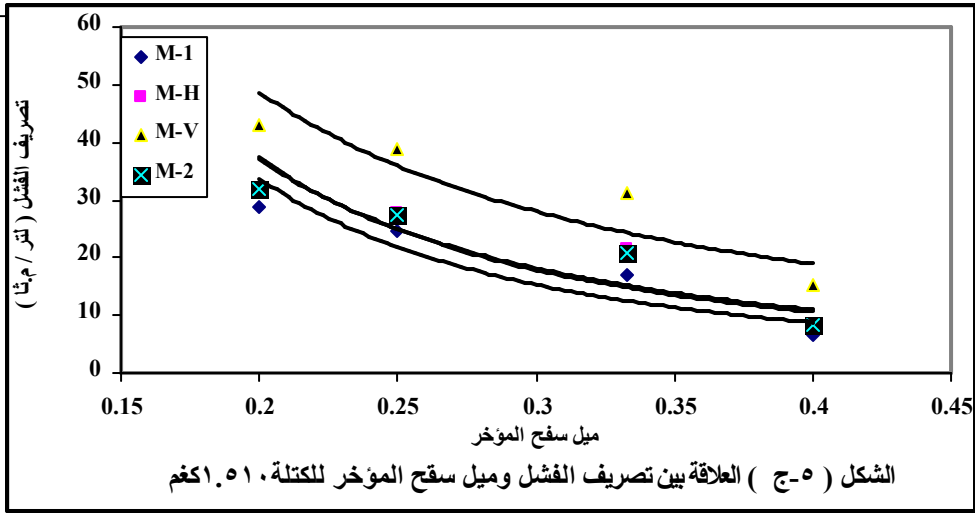


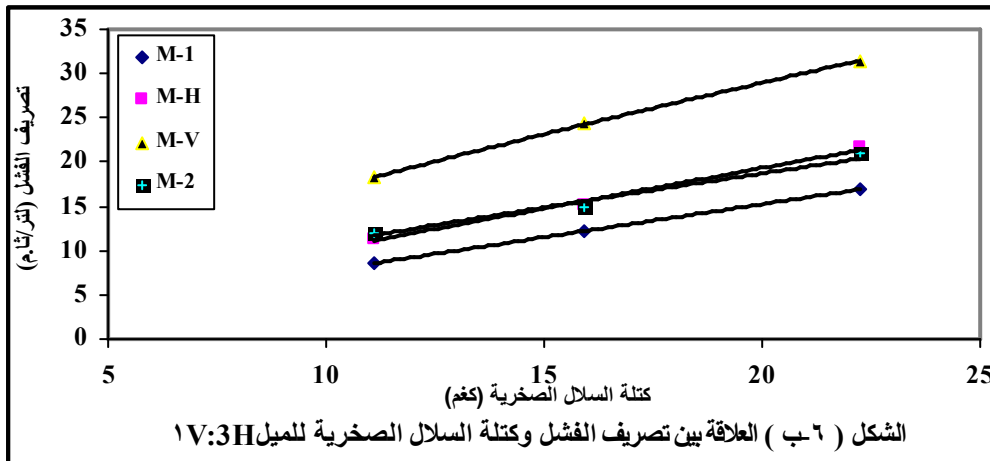
الشكل (أ-٥) العلاقة بين تصريف الفشل وميل سفح المؤخر للكتلة ١.٠٥ كغم

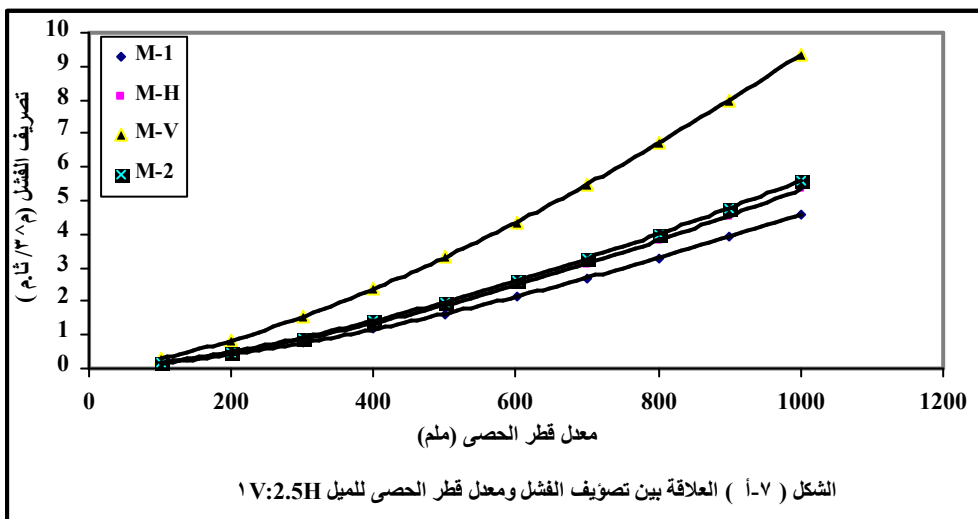
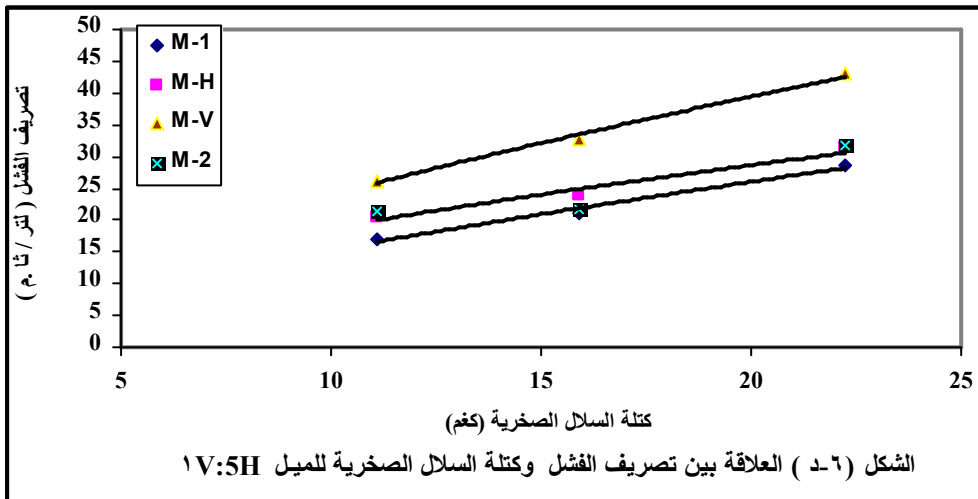
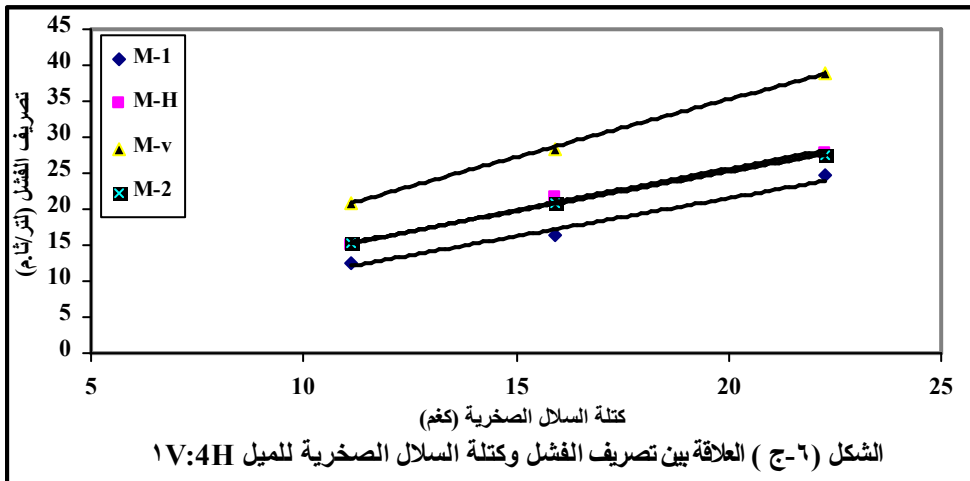


الشكل (ب-٥) العلاقة بين تصريف الفشل وميل سفح المؤخر للكتلة ١.٢٢ كغم

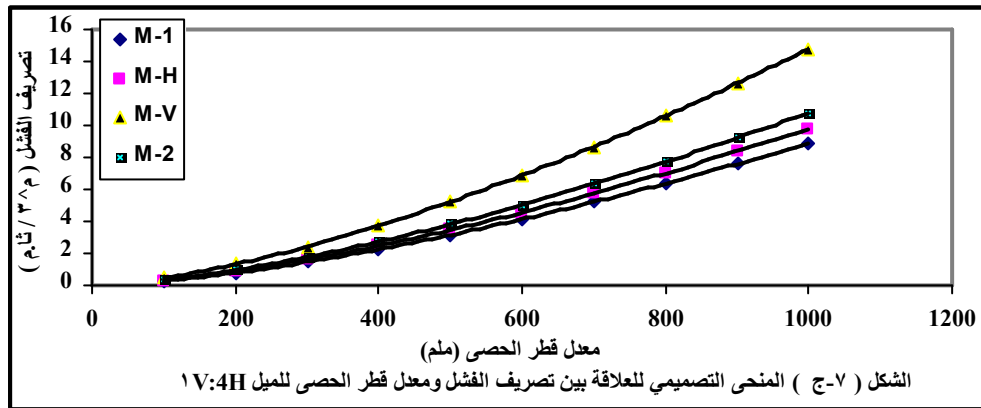
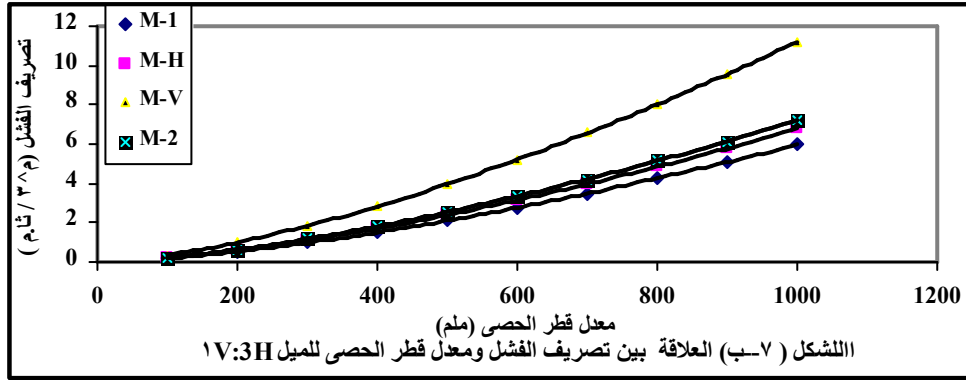
نوري : دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية

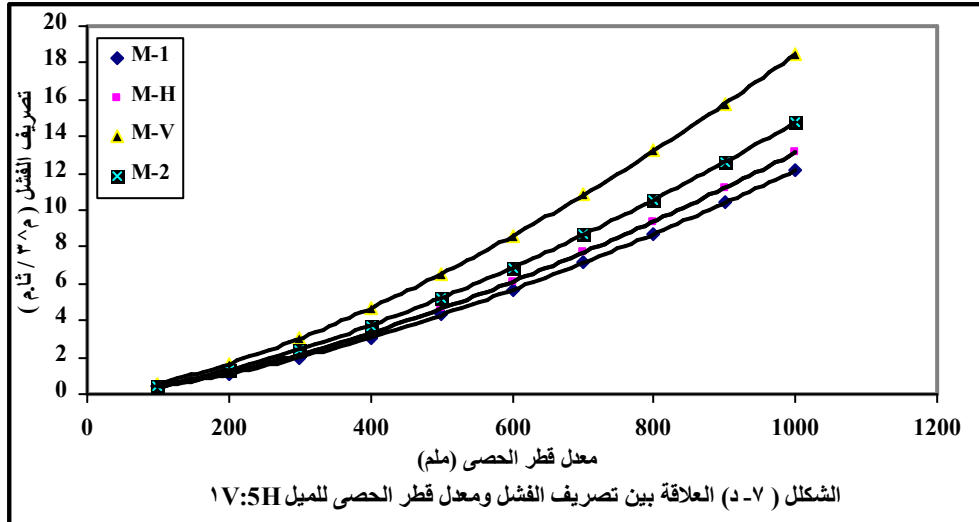




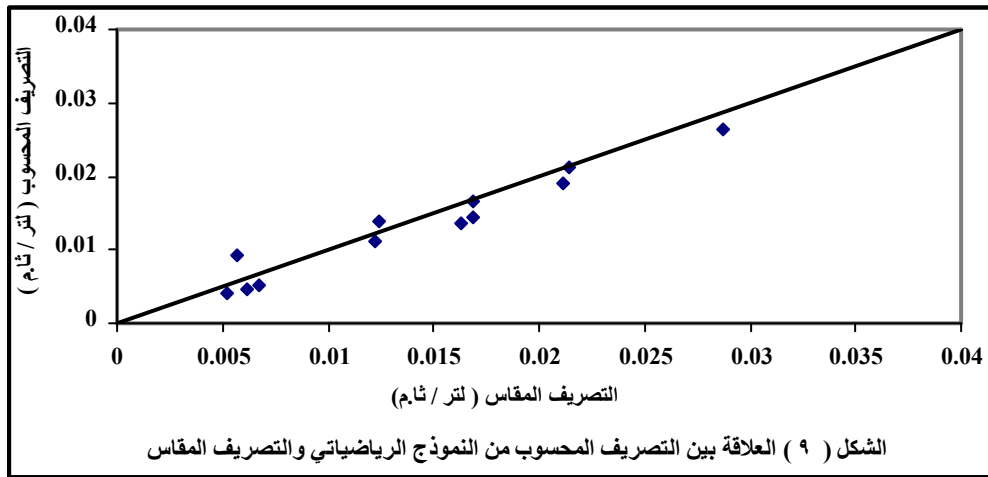
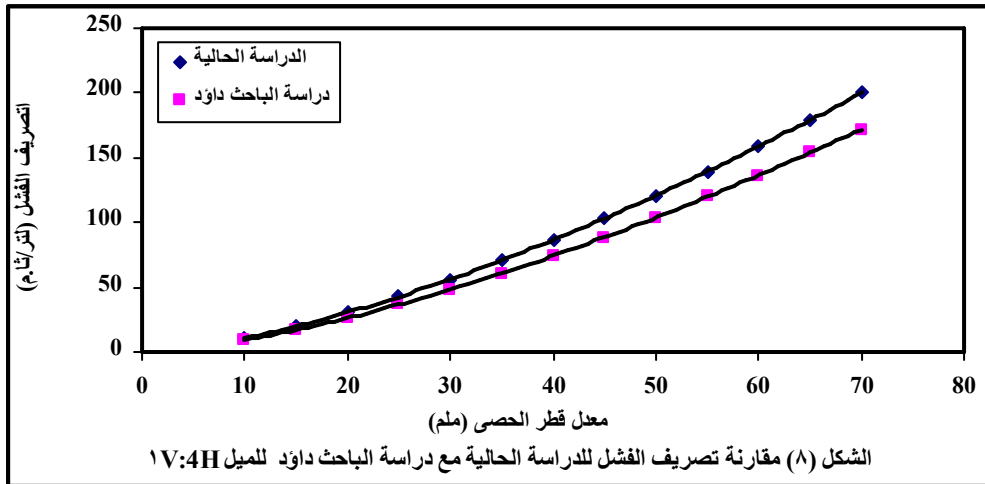


نوري : دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية





نوري : دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية



اللوحة (1) فشل الميل (1V:4H) للحالة (M-2) والكتلة 1.22 كغم

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل