

دراسة لاستخدام السلال الصخرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الحجرية

د. غنية عبد المجيد حياوي هناء عبد المجيد حياوي يسرى عبد المجيد حياوي
أستاذ مساعد أستاذ مساعد رئيس مهندسين
كلية الهندسة - جامعة الموصل

استلم 2011/09/19، قبل للنشر 2012/5/28، نشر على الانترنت 2013/4/18

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة مدى ثباتية واستقرار سفح المؤخر للهدارات الحجرية المعرضة للجريان الفوقي باستخدام السلال الصخرية وذلك بإنشاء خمسة نماذج من الهدارات بميول مختلفة لسفح المؤخر [1V:2.5H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:5H, 1V:7.5H] وأجريت ستون تجربة، نفذت لارب 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)، لثلاثة 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 الحجرية المحمية بالسلال الصخرية بدلالة أكبر تصريف فشل يمر فوق الهدار وبالاستعانة بمنحنيات تصميمية لكل حالة. عند مقارنة نتائج الدراسة الحالية مع نتائج الدراسات السابقة تبين بان الهدارات الحجرية المحمية بالسلال الصخرية تعطي تصاريح فشل أكبر من الهدارات الركامية والترابية المحمية بالسلال الصخرية.

الكلمات الدالة: - السلال الصخرية، الهدارات الركامية

Study of Using Gabion to Protect Downstream Slope of Stone Weirs

Abstract

In the present research, the stability of stone 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, 1V:7.5H] were constructed and tested. sixty experiments were carried out 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 stone weirs protected by gabions in

terms of maximum failure discharge with the help of design charts obtained from the present study.

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

Key word: Gabion, Rockfill weirs

استعمال السلال الصخرية وعادةً السلال الصخرية تحتاج إلى (3/1) السمك مقارنة بالتكسية الحجرية (Riprap) [6].

بين الباحث سمث [7] في دراسة مبسطة على فرشاة السلال الصخرية الحرة لهدارات ترابية ويميل لسفح المؤخر (1V:10H) أنها تفشل بسرعة حيث ترتفع حافتها العليا بفعل التيار عندما تستعمل لحماية سفح المؤخر للهدار. أعاد الاختبار مرة أخرى بربطها مع بعضها من الأعلى والأسفل فلاحظ بأن الفرشة ترحف جميعها إلى الأسفل وبمعدل أقل من معدل الجريان المطلوب تنفيذه لهذا البرنامج وهو الحصول على أقل كلفة محتملة لمادة الحماية لهدارات الترابية. كما وجد الباحث ستيفنسون [8] في دراسته عن استقرارية السلال الصخرية في الهدارات أن الفشل يحصل إما نتيجة الانقلاب أو نتيجة زحف السلال الصخرية وهذه يمكن حلها رياضياً حيث وجد علاقة لكل حالة من حالات الفشل. ودرس الباحث جيروديتي [9] نموذجاً للسد الوقي الصخري في المحطة الكهرومائية في هندوراس من الناحية الهيدروليكية والذي تم إنشاؤه بمقياس (100:1) ويتكون من ركيزة تعمل كجدار مانع وقد تم حماية السفح والقمة وجزء من سفح المقدم بالسلال الصخرية المسلحة والبالغ عددها (37) وقد ثبتت بوساطة خطافات مربوطة في جسم الهدار للتغلب على مشكلة رفع السلة الصخرية وحركتها من مكانها حيث إن الجريان الحاصل في جسم الهدار يسبب حدوث تسرب قوي يعمل على دفع السلة الصخرية إلى الأعلى وهذا ما يسبب في تقليل وزن السلة الصخرية. وكذلك قام الباحث داوود [10] بإجراء دراسة مختبرية لاستقرارية الهدارات الترابية باستخدام السلال الصخرية حيث تمكن من دراسة العوامل المختلفة التي تؤثر على سلوكية السلال الصخرية مثل كتلة السلة الصخرية وعدد طبقات السلال الصخرية و ميل سفح المؤخر ومعدل قطر الحصى وقد أنشأت خمسة نماذج بميول مختلفة لسفح

المقدمة

تمثل المياه القاعدة الأساسية التي تعتمد عليها المسيرة التنموية في كل بلدان العالم . تشكل المياه هاجساً يشغل بال الكثير من الدول سواء الغنية بمواردها المائية أو الفقيرة فيها، ولغرض الحفاظ على ثباتية واستقرارية سفح المؤخر للمنشآت الركامية المعرضة للجريان الخلالي والفقوي و تم تسليحها أحياناً باستخدام شبكة حديدية أو رصفها بالصخور الكبيرة أو تغطيتها بالسلال الصخرية (Gabions) التي تتميز بحفاظها بنفس نفاذية المواد الركامية المشابهة ولكن بثباتية أكبر من ثباتية الصخور المنفردة [1]. إن استخدام المواد الركامية لبناء الهدار ذاتي المسيل تمثل خطوة هامة ومقدمة في مجال تصميم وبناء المنشآت الركامية [2]. يتم في هذا النوع من الهدارات خزن قسم من الماء بينما يمر القسم الآخر كجريان خلالي أو فوقه عبر الهدار الركامي. وتعدّ هذه الطريقة أكثر اقتصادية من الطرائق القديمة لإنشاء الهدارات الركامية للأسباب الآتية:-

إن الهدارات الركامية ذاتية المسيل تسمح بعبور الماء من خلالها وفوقها لذلك فعند إنشائها لا حاجة لتصميم وبناء مسيل مائي تقليدي نظراً لتبديد طاقة الماء وتهديتها أثناء مروره فوق وعبر الهدار الركامي 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 وكمبردات للطاقة وبناء الجدران الساندة وكذلك في حماية جدران القنوات المفتوحة ودعامات الجسور من التعرية [5] و [4]. 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 من

أجريت التجارب في قناة مشيدة من الخرسانة ذات قعر ثابت بطول (24.64) متراً وعرض (0.81) متر وعمق (0.75) متر كما في الشكل (2). مثبت على جداري القناة مقاطع حديد (دكسن) على شكل زاوية وبصورة أفقية تستخدم لتثبيت مقاييس العمق عليها. يتصل مقدم القناة بحوض التغذية بأبعاد (2.25 متر \times 1.25 متر) وعمق (1.2) متر. يصل الماء إلى الحوض بواسطة أنبوب قطره (15.24) سم مثبت عليه صمام للسيطرة على التصريف ويأخذ الأنبوب الماء من خزان أرضي في المختبر عن طريق مضخة يصل تصريفها التصميمي إلى (100) لتر/ثانية. على بعد (2.5) متر من الحوض تثبيت بوابة الكسح التي تبلغ أبعادها الداخلية (1متر \times 0.81متر) وإطارها الخارجي مصنوع من الحديد وصفيحة معدنية سمكها (4) ملم ولها خاصية الحركة إلى الأعلى والأسفل عن طريق قضيب مسنن. تم تثبيت مقاييس العمق على القناة، لغرض قياس منسوب سطح الماء وعمق الماء الذيلي. يتصل بنهاية القناة حوض التصريف بطول (8) أمتار وعمق (1.2) متر وعرض (0.8) متر. يوجد في نهاية الحوض تخصر بطول (1.84) متر وارتفاع (0.5) متر ثبت فيه هدار حديدي بمقطع (18سم \times 50سم) وسمك (0.6) سم لقياس تصريف الماء في القناة. وفي الجهة اليسرى للحوض وعلى بعد (1.75) متر مقدم الهدار يوجد بئر مراقبة من الخرسانة بأبعاد (15سم \times 15سم) وعمق (0.6) متر ذو وجه زجاجي لكي يمكن ملاحظة وقياس منسوب سطح الماء فوق الهدار بواسطة مقياس مثبت على الوجه الزجاجي منه. كما تم وضع مطفح على أحد جانبي القناة بأبعاد (34سم \times 34سم) وعلى بعد (1.94) متر من بداية القناة للحفاظ على شحنة ثابتة مقدم بوابة التحكم ومن ثم الحصول على تصريف مستقر مع الزمن وكما مبين في الشكل (2).

مواصفات المواد المستخدمة في التجارب

مواصفات الحصى: إن المواد المستخدمة للسلال الصخرية هي من الحصى النهري تم اختياره بمديات قليلة من المناخل لكي نتمكن من الحصول على الحجم

المؤخر تتراوح بين (1V:10H) إلى (1V:3H). كما أجرى الباحثان نوري و حياوي^[11] دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية، حيث تم إنشاء أربعة نماذج من الهدارات الركامية بميول مختلفة تراوحت بين (1V:2.5H,) (1V:5H).

العمل المختبري

يتضمن العمل المختبري إنشاء خمسة نماذج لهدارات حجرية بميول مختلفة لسفح المؤخر هي (1V:2.5H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:5H, 1V:7.5H) على التوالي ويميل ثابت لسفح المقدم (1V:2H) لكافة النماذج كما موضح في اللوحة (1) والشكل (1). تم بناء النماذج بعرض يساوي عرض القناة المختبرية التي تم بناء الهدار فيها (81) سم، ارتفاعه (50) سم، عرض القمة (40) سم مع وضع حاجز غير نفاذ بعرض القناة مصنوع من مادة البلاستيك وبسمك (6) ملم تم تثبيته في إطار حديدي مثبت على جدران القناة. السلال الصخرية المستخدمة لحماية سفح المؤخر للهدار كانت بأبعاد (25سم \times 20سم)، كما تم تصنيف هذه النماذج إلى خمسة مجاميع اعتماداً على ميول سفح المؤخر للهدار المشار إليه أعلاه. كل مجموعة تتضمن استخدام ثلاثة أقطار من الحصى ($D_s = 22.25$ و 15.9 و 11.11) ملم على التوالي. وقد استخدم كل قطر في الفحص أربع مرات للنموذج الواحد وكما يأتي ($M - 1$) قيمة $1 = NL$ بدون ربط السلال الصخرية مع بعضها وبطبقة واحدة، ($M - H$) قيمة $1 = NL$ بربط السلال الصخرية أفقياً مع بعضها وبطبقة واحدة، ($M - V$) قيمة $1 = NL$ بربط السلال الصخرية رأسياً مع بعضها وبطبقة واحدة و ($M - 2$) قيمة $2 = NL$ بدون ربط السلال الصخرية مع بعضها وبطبقتين، إذ إن NL تمثل عدد طبقات السلال الصخرية. كما تم تحديد موقع الهدار في القناة على بعد (15) متر والحجر المستخدم في بناء الهدار ذي قطر يساوي (11.11) ملم حسب المواصفات^[12]. والجدول (1) يبين بعض الأبعاد المهمة في إنشاء النماذج.

1- توضع السلال الصخرية على الهدار الحجري من مؤخره (سفح المؤخر) وانتهاءً بمقدمه (سفح المقدم) ربطت السلال الصخرية مع بعضها على سفح المقدم والقمة.
2- تم تجهيز الماء (تشغيل المضخة) للقناة والتحكم بالتصريف الداخل إلى القناة عن طريق القفل الموجود في بداية القناة والبوابة. حيث يطفح الماء فوق الهدار وتتم ملاحظة السلال الصخرية. تسجل القراءات المطلوبة وهي عمق الماء فوق القمة وعمق الماء العمودي وعمق الماء الذيلي و ارتفاع الماء فوق الهدار الموجود في نهاية القناة وبعد نصف ساعة يتم تغيير التصريف وتتم ملاحظة حركة السلال الصخرية بصورة دقيقة 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 انقلاب وتسجل هذه القراءات ويتم حساب تصريف الفشل. ويؤخذ المعدل للتصريفين خلال الفشل وقبله. بعد زيادة كل تصريف فإن حركة السلال الصخرية تلاحظ بدقة ويسجل عدد السلال الصخرية المتحركة ورقم الصف الذي تحركت منه السلال الصخرية وفي أي صف بدأ الانهيار.

تحليل ومناقشة النتائج المخبرية

العوامل المؤثرة على تصريف الفشل

1- ميل سفح المؤخر:

إن إحدى الأهداف الأساسية للبحث هي دراسة تأثير ميل سفح المؤخر على تصريف الفشل وقد رسمت العلاقة بين الميول الخمسة وتصريف الفشل لحالات وضع السلال الصخرية على سفح المؤخر المختلفة للكتل الثلاثة كما في الأشكال من (3-أ) إلى (3-ج)، والعلاقة التي تربط تصريف الفشل وميل سفح المؤخر يمكن كتابتها كالتالي:-

$$q_f = a_1 S^{b_1} \dots \dots \dots (2)$$

إن: q_f = تصريف الفشل لكل وحدة عرض
، a_1, b_1 = معاملات و S = ميل سفح المؤخر.

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) كما موضح في الجدول (2) وقد كانت ضمن الحدود التي أشار إليها الباحثان سايمونز وشتنوري^[13].

مواصفات السلال الصخرية

تم صنع السلال الصخرية المستخدمة في التجارب لحماية سفح المؤخر للهدار الحجري في المختبر من نوع خاص من أكياس النايلون المشبكة بسمك (0.5) ملم وفتحات (5) ملم. هذه الأكياس تم إعدادها على شكل حقائب مستطيلة الشكل وبأبعاد (25سم × 20سم) ملئت بالحصى المطلوب إلى أن نحصل على السمك المطلوب للسلة الصخرية بمقدار (D_s) ولكل نوع، بعدها حُدد وزن السلة الصخرية ولكل حجم من الحصى. إن طريقة وضع السلال الصخرية على سفح المقدم والمؤخر كانت على النحو الآتي: توضع في بداية سفح المؤخر أربعة سلال صخرية ثم يليها في الصف الثاني خمسة سلال صخرية بحيث تكون المفاصل متخالفة. كما تم تحديد الصلادة (Solidity) (a') (صلادة طبقة السلة الصخرية) لكل نوع من الحصى من المعادلة الآتية^[7]:-

$$a' = \frac{m}{a_L b_L \rho_s h} \dots \dots \dots (1)$$

إن: m = كتلة السلة الصخرية a_L عرض السلة الصخرية و b_L طول السلة الصخرية و ρ_s = الكثافة الكتلية للحصى و h = سمك طبقة الحماية. وقيم الصلادة للسلال الصخرية تم توضيحها في الجدول (3).

التجارب المخبرية

تتلخص خطوات إجراء التجارب المخبرية بما يأتي:-

تصريف الفشل يزداد بزيادة كتلة السلة الصخرية ونقصان الميل.

3- ربط السلال الصخرية مع بعضها

إن ربط السلال الصخرية مع بعضها سواء كان الربط أفقياً (M-H) أم 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 أو حركة الحصى من جسم الهدار تحت السلال الصخرية وهذا يحتاج إلى تصاريح أكبر للحدوث لاسيما في حالة الربط الرأسية.

معادلات تصريف الفشل لوضع السلال الصخرية

إن العوامل المؤثرة على تصريف الفشل كثيرة منها ميل سفح المؤخر (S) وعدد طبقات السلة الصخرية (NL) وظل زاوية الوضع للسلة الصخرية ($\tan \phi_g$) وصلادة طبقة السلة الصخرية (a') ومعدل قطر الحصى المستخدم (Ds) والتعجيل الأرضي (g) والكثافة الكتلية للماء (ρ_w) والكثافة الكتلية للحصى (ρ_s) وكثافة الكتلة المغمورة ($\rho_s - \rho_w$) ولزوجة الماء (μ). وإن تصريف الفشل للهدار الحجري المحمي بالسلال الصخرية يكون دالة لهذه المتغيرات.

$$q_f = f_1 \left(S, NL, \tan \phi_g, a', Ds, g, \rho_w, \rho_s - \rho_w, \mu \right) \dots \dots \dots (4)$$

وبإتباع عملية التحليل البعدي وباستخدام نظرية باي [π-Theorem] يمكن صياغة العلاقة (4) على النحو الآتي:-

$$\frac{q_f}{g^{1/2} Ds^{3/2}} = f_2 \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, Re, (NL), \tan \phi_g, a', S \right) \dots \dots \dots (5)$$

إذ إن: $Re =$ رقم رينولدز الذي يصف تأثير لزوجة الجريان وعندما تكون أرقام رينولدز عالية يصل الجريان إلى حالة الاضطراب الكامل عندها يضمحل تأثير

ويلاحظ من نتائج المعادلة (2) أن تصريف الفشل يزداد كلما يقل ميل سفح المؤخر وهذا ما لوحظ فعلاً في الأشكال (3-أ) و (3-ب) و (3-ج) وهذا يعني أن زيادة التصريف يؤدي إلى زيادة سرعة الجريان على سفح المؤخر مما يؤدي إلى زيادة قوة السحب التي تعمل على تحريك السلة الصخرية على السفح. ويلاحظ من الجدول (4) أن العلاقة التي تربط بين تصريف الفشل وميل سفح المؤخر علاقة عكسية حيث يتراوح معامل التحديد (R^2) بين (0.856) و (0.984).

2- كتلة السلال الصخرية

استخدمت في البحث ثلاثة كتل للسلال الصخرية بثلاثة أقطار مختلفة وقد لوحظ من التجارب المختبرية أنه كلما زادت كتلة السلة الصخرية زاد تصريف الفشل وإن الزيادة في قطر الحصى المستخدم يسبب زيادة في كتلة السلة الصخرية ومن ثم زيادة مركبة قوى الوزن العمودية على الجريان التي بدورها تؤدي إلى زيادة مقاومة الفشل (الحركة). ورسمت العلاقة بين تصريف الفشل وكتلة السلة الصخرية وللميول الخمسة المستخدمة للهدار الحجري (1V:7.5H) إلى (1V:2.5H) وللحالات الأربعة (M-1, M-H, M-V, M-2) وكانت العلاقة التي تربط تصريف الفشل وكتلة السلة الصخرية كالآتي:-

$$q_f = a_2 W_g^{b_2} \dots \dots \dots (3)$$

إذ إن: $a_2, b_2 =$ ثوابت و $W_g =$ كتلة السلة الصخرية

وقد تم إيجاد قيم المعاملات (a_2, b_2) ومعامل التحديد (R^2) وكما مبينة في الجدول (5). ومن ملاحظة الجدول يتبين بأن هناك علاقة طردية تربط بين تصريف الفشل وكتلة السلة الصخرية حيث يتراوح معامل التحديد (R^2) بين (0.84) و (0.999). والأشكال من (4-أ) وإلى (4-هـ) توضح العلاقة بين تصريف الفشل وكتلة السلة الصخرية من الميل (1V:2.5H) إلى الميل (1V:7.5H) على التوالي، ومن هذه الأشكال يتبين أن

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{2.1} (S)^{-0.98} \dots \dots \dots (9)$$

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

زيادة نسبة تصريف الفشل مع عدد الطبقات

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

العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى المستخدم

تم دراسة العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى المستخدم بالرجوع إلى الجدول (3) إذ أن معدل قيم $(a' = 0.597)$ ومعدل قيم $(\gamma_s = 26231.94)$ نيوتن/م³ ومن المعادلات (9 و 8 و 7) تم رسم العلاقة بين تصريف الفشل وقطر الحصى لكافة الميول [1V:2.5H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:5H, 1V:7.5H] ولكافة حالات وضع وربط السلال الصخرية كما في الأشكال (5-أ) إلى (5-هـ)، تبين من هذه الأشكال أن 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.

المقارنة مع دراسات أخرى

ولأجل 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) والباحث نوري وحياوي (Noori and Hayawi, 2008) كما في الشكل (6). ويلاحظ من الشكل أن تصريف الفشل في الدراسة الحالية أكبر مما في دراسة الباحثين نوري وحياوي والباحث داود وهذا يدل على أن الهدارات الحجرية المحمية بالسلال الصخرية

للزوجة في القنوات المفتوحة الخشنة وبذلك يمكن إهماله. وإعادة ترتيب المتغيرات في المعادلة (5) يمكن كتابتها بالشكل الآتي:-

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{e_1} (NL)^{e_2} (S)^{e_3} \dots \dots \dots (6)$$

إذ إن: $e_3, e_2, e_1 =$ أسس المتغيرات، $C_s =$ ثابت لا بعدي يمثل معامل تصريف الفشل، تم إيجاد قيم الأسس (e_3, e_2, e_1) عن طريق إدخال البيانات لكل المتغيرات وباستخدام طريقة (Nonlinear Regression) في برنامج إحصائي (SPSS VER 10) وكانت المعادلات بالشكل الآتي:-
في حالة وضع السلال الصخرية على سفح المؤخر بشكل (M-1, M-2):

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{2.56} (NL)^{0.28} (S)^{-1.4} \dots \dots \dots (7)$$

حيث إن قيمة $C_s = 0.981$ ومعامل التحديد $0.904 = (R^2)$ وكذلك تم إيجاد معادلات لحالة الربط الأفقي (M-H) وحالة الربط العمودي (M-V) كل على حده وكانت المعادلات على النحو الآتي:-
حالة الربط الأفقي (M-H):

$$q_f = C_s g^{1/2} D_s^{3/2} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times a' \times \tan \phi_g \right)^{2.6} (S)^{-1.3} \dots \dots \dots (8)$$

حيث إن قيمة $C_s = 1.26$ ومعامل التحديد $0.86 = (R^2)$ حالة الربط العمودي (M-V):

كل من قيم $(h, K_3, K_2, K_1, C, A, \tan \phi_g)$ للكثافة الثلاثية باستخدام برنامج (Matlab). كما موضحة في المعادلات من (1-14) في المصدر [11] و يتم حساب قيمة (d_c) ومن ثم قيم تصريف الفشل . تقارن قيم تصريف الفشل المحسوبة مع قيم تصريف الفشل المقاسة وتعاد هذه العملية عدة مرات إلى أن يتم الحصول على قيم مقاربة للتصريف المقاس مع التصريف المحسوب وبعدها يحدد معامل تصحيح تصريف الفشل (C_f) بقسمة تصريف الفشل المقاس على تصريف الفشل المحسوب كما في الجدول (8). ولغرض الحصول على قيمة حقيقية لتصريف الفشل تضرب القيم المحسوبة للتصريف بالمعامل (C_f) ومن الجدول (8) يلاحظ أن قيم (C_f) تكون أكبر من واحد باستثناء الميول (1V:3H, 1V:4H)، للكثافة 1.05 حيث كانت قيم (C_f) أقل من واحد. وقد رسمت العلاقة بين تصريف الفشل المحسوب وتصريف الفشل المقاس من التجارب المختبرية في الشكل (7)، ومن الشكل يلاحظ تقارب بعض القيم من خط التوافق الأمثل (Perfect agreement) .

الاستنتاجات

من هذا البحث تم التوصل الى الاستنتاجات الآتية:-
 1- تم إيجاد العديد من المعادلات الوضعية التي تربط تصريف الفشل مع ميل سفح المؤخر وكثافة السلال الصخرية وظهر وجود علاقة عكسية بين تصريف الفشل وميل سفح المؤخر للهدار الحجري ولوحظ زيادة تصريف الفشل بزيادة وزن السلال الصخرية وعدد الطبقات ومعدل قطر الحصى .
 2- تم الحصول على معادلات لحساب تصريف الفشل لكافة حالات وضع وربط السلال الصخرية.
 3- تم تقديم طريقة تصميمية مبسطة لحماية الهدارات الحجرية باستخدام السلال الصخرية وعلى شكل منحنيات تمثل العلاقة بين تصريف الفشل ومعدل قطر الحصى والتي منها يمكن اختيار حالة وضع وربط السلال الصخرية مع بعضها أو عدم ربطها.

تكون كفاءتها أعلى من الهدارات الترابية والهدارات الركامية.

طريقة التصميم

من الأهداف الرئيسة لهذه الدراسة هي الحصول على طريقة تصميمية لحماية الهدارات الحجرية باستخدام السلال الصخرية ولهذا الغرض فقد تم رسم منحنيات تصميمية يستفاد منها في الحياة العملية كطريقة تصميمية بسيطة كما في الأشكال (5-أ) إلى (5-هـ) ولأقطار مختلفة من الحصى.

من الأهداف الرئيسة لهذه الدراسة هي الحصول على طريقة تصميمية لحماية الهدارات الحجرية باستخدام السلال الصخرية ولهذا الغرض فقد تم رسم منحنيات تصميمية يستفاد منها في الحياة العملية كطريقة تصميمية بسيطة كما في الأشكال (5-أ) إلى (5-هـ) ولأقطار مختلفة من الحصى.

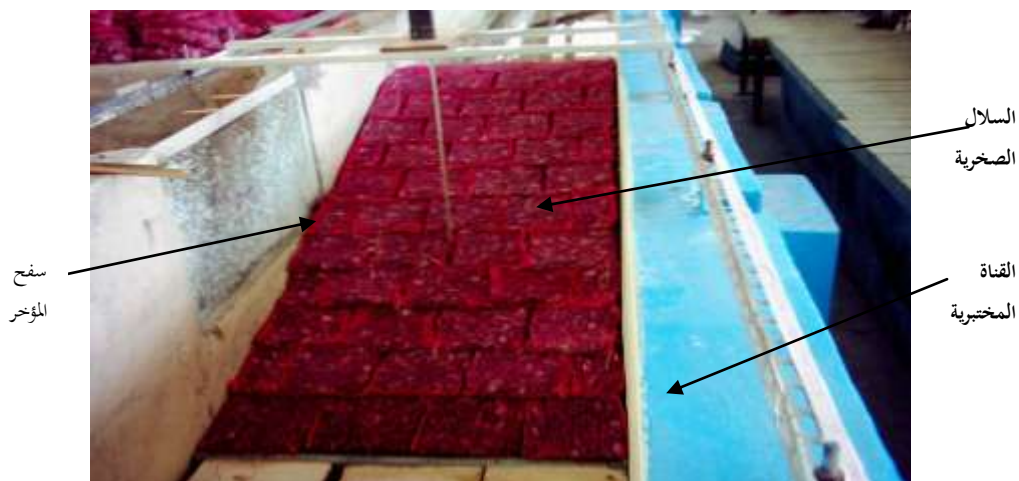
ومن النموذج الرياضي [11] ولغرض تطبيقه فإنه يتطلب إيجاد عدد من المتغيرات من التجارب، مثل كثافة طبقة السلال الصخرية الموضوعة على سفح المؤخر للهدار لكل متر مربع، وهذا يتم بالرجوع إلى الجدول (1) الذي يبين فيه عدد طبقات السلال الصخرية الموضوعة على سفح المؤخر. إن كثافة السلال الصخرية لكل أنواع الحصى المستخدم مبينة في الجدول (3). عندها يتم حساب الكثافة الكتلية لكل متر مربع للطبقة، ويتم معرفة طول الميل الرئيس للسفح وعرضه، والكثافة (ρ_s) من حاصل قسمة الكتلة على حجم الطبقة، حيث يؤخذ ارتفاع الطبقة مساوياً إلى القطر (Ds) ولكل كثافة من الكتل المستخدمة كما مبين في الجدول (7). وقيم زاوية الاستكانة (ϕ_g) من الجدول (3) بعدها يتم فرض قيمة السمك المؤثر لطبقة الحماية (h) لتحقيق غايتين الأولى هي الاقتراب من التصريف الحقيقي المقاس للفشل والثانية تحقيق قيمة عالية لصلادة طبقة السلال الصخرية. وتحسب صلادة السلة الصخرية من المعادلة (1) بعد ذلك تحدد خشونة وجه مادة الحماية (b') حيث $(Ds = r' = b'h)$ وإن مقدار الخشونة المؤثر (r') يكون مساوياً للقطر (Ds) . بعد ذلك يتم حساب

- 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- Noori, B. M. A and Hayawi, G. A., 2008 " Laboratory Study of Protecting Downstream Slope of Rock fill Weirs Using Gabions", Journal of Al-Rafideen, Engineering College of Engineering , University of Mosul.
- 12- ASTM standard, 1972, "Method for Particle Size Analysis of Soils" Designation, D422-63, PP. 112-122.
- 13- Simons, D. B., and Senturk ,F., 1976, "Sediment Transport Tec-hnology", Water Resources Publications, Fort Collin, Colorrado, U.S.A.

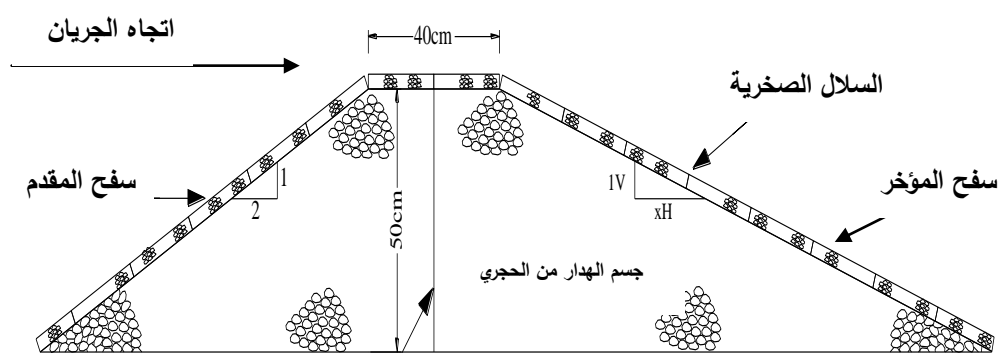
- 4- تبين من التجارب المختبرية التي نفذت أن الفشل بالزحف هو الأكثر حدوثًا من الفشل بالانقلاب.
- 5- ربط السلال الصخرية مع بعضها يمنعها من الحركة الانفرادية والعشوائية.

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.

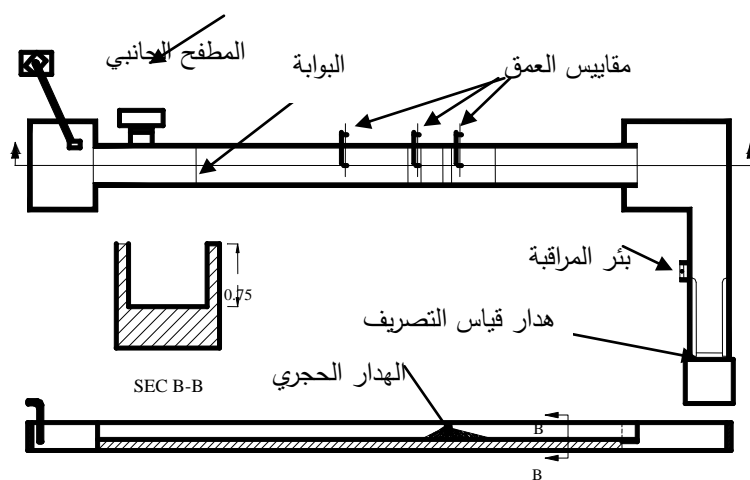


اللوحة (1) تبين وضع السلال الصخرية على سفح المؤخر للهدار الحجري قبل التشغيل للميل (1V: 3H) للحالة (M-1) والكتلة (1.22) كغم

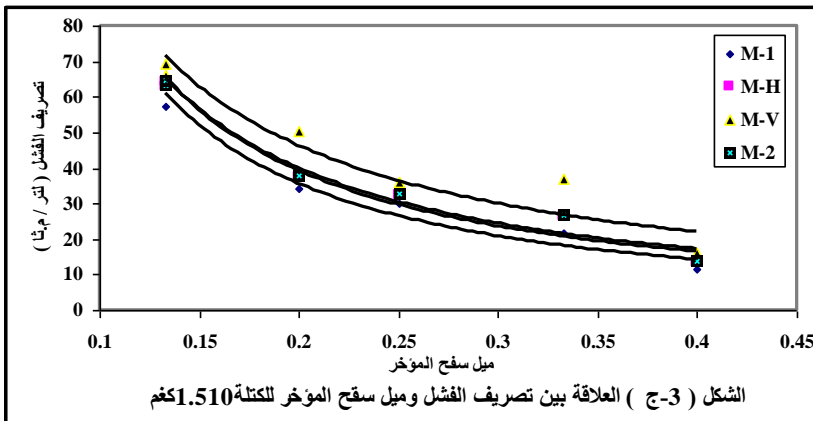
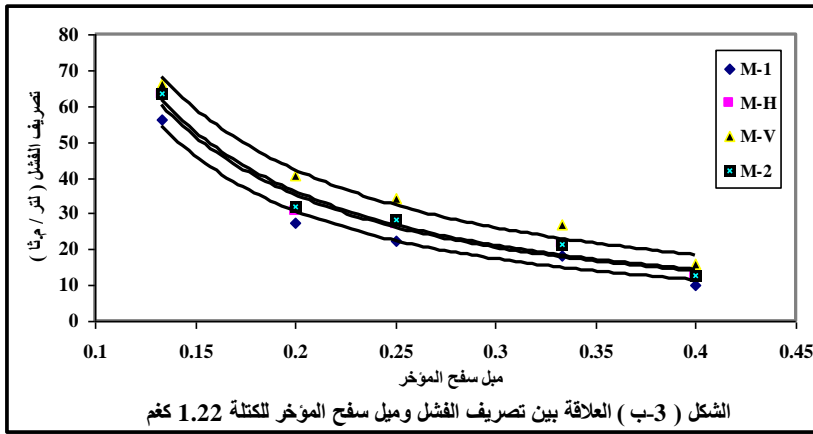
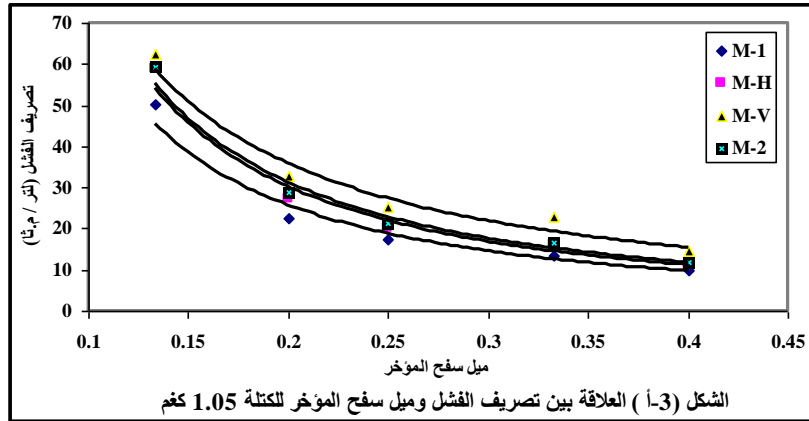


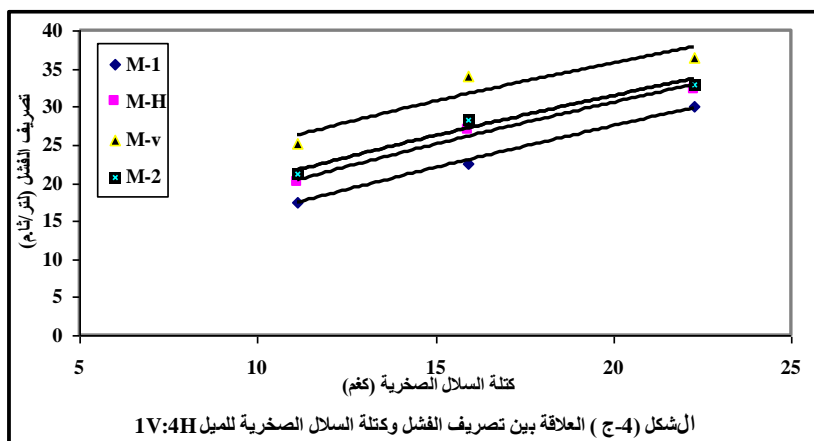
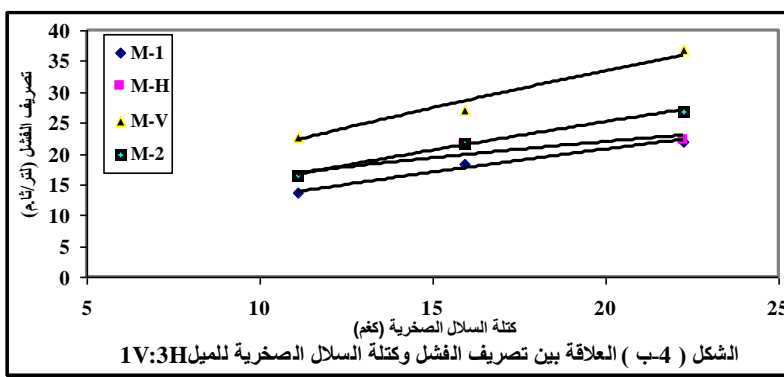
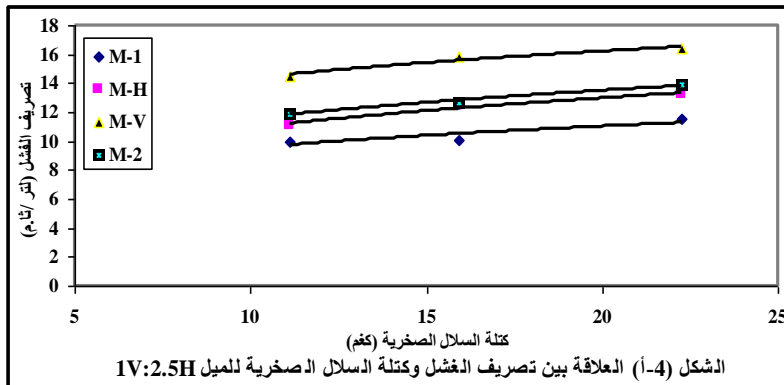
طبقة غير نفاذة

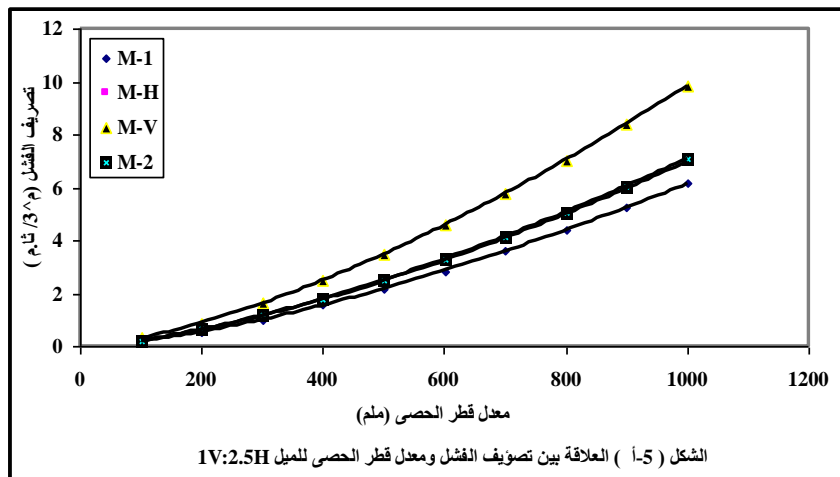
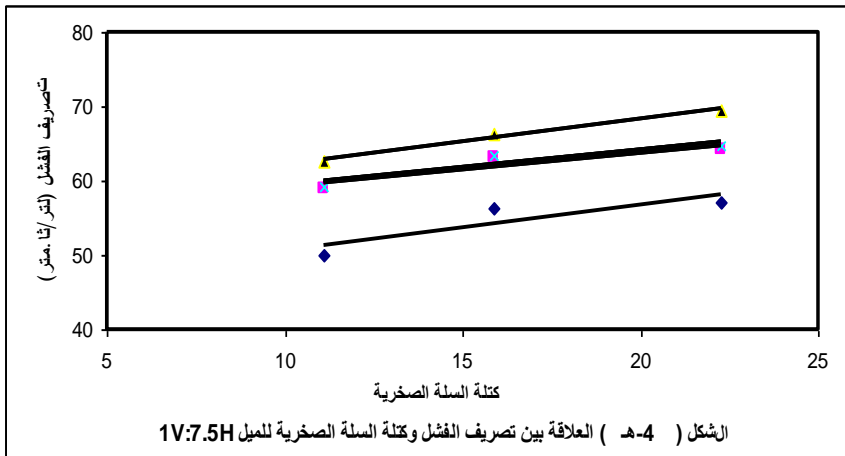
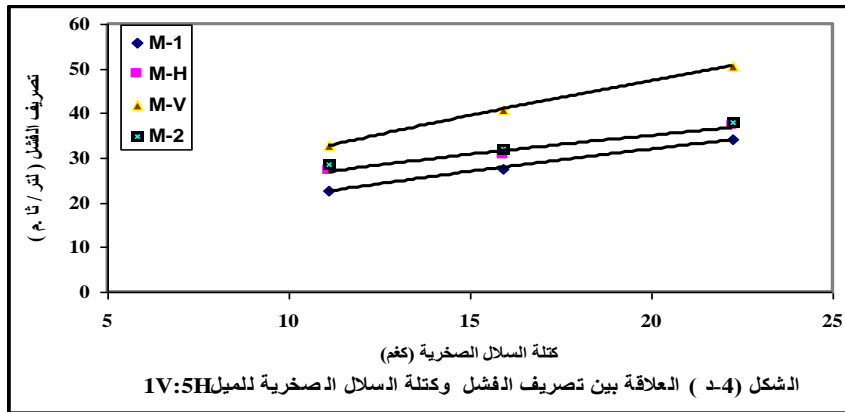
الشكل (1) مقطع طولي للهدار الحجري

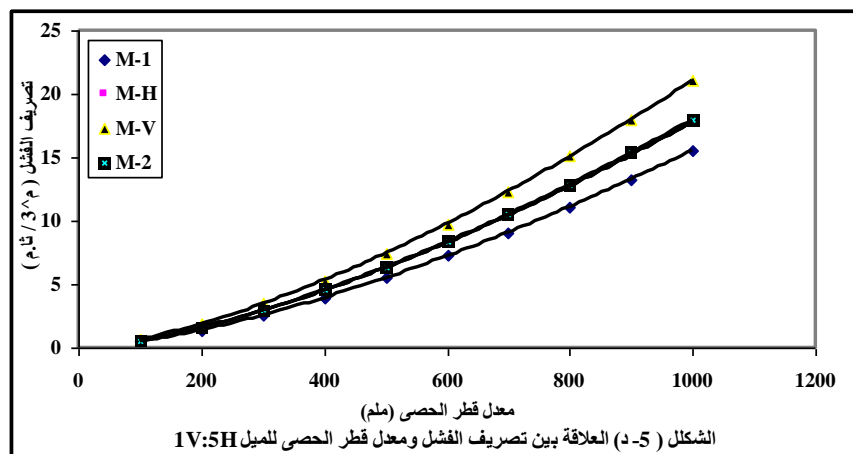
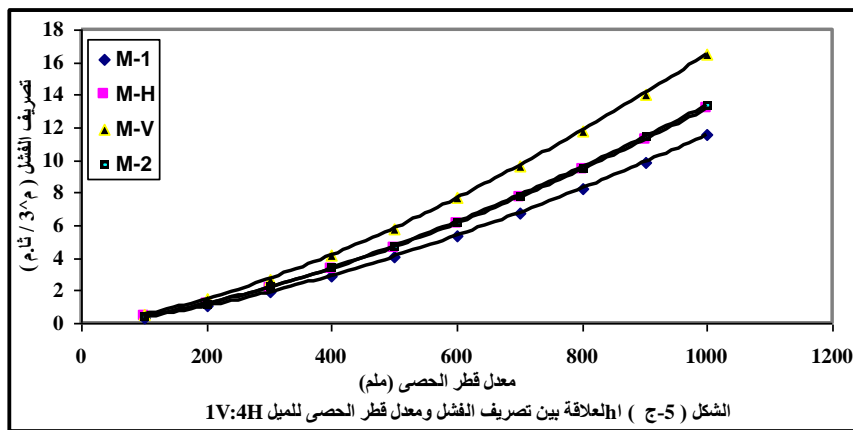
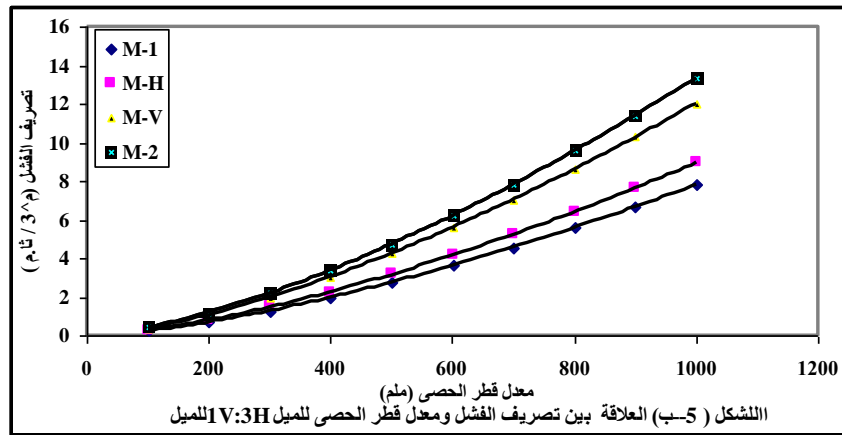


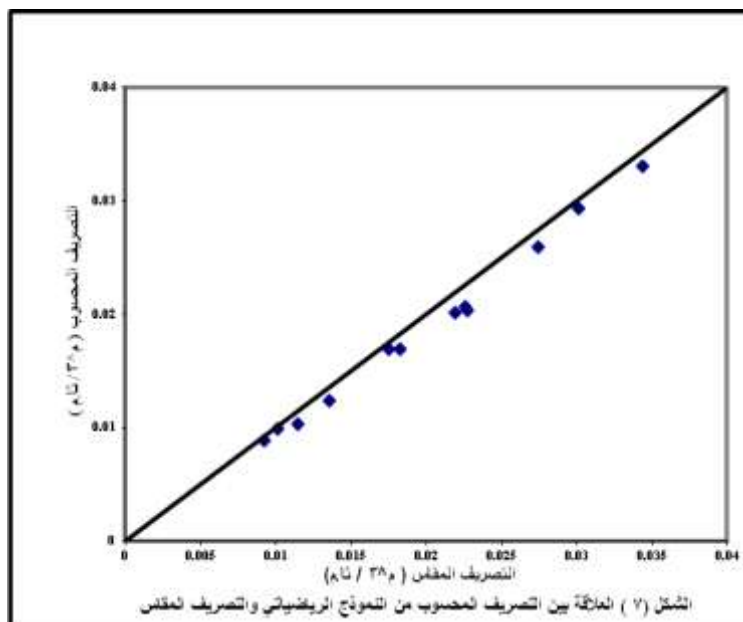
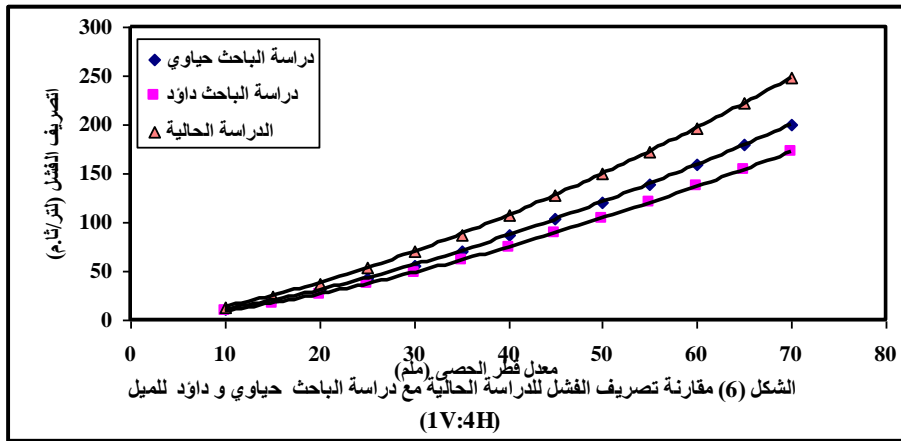
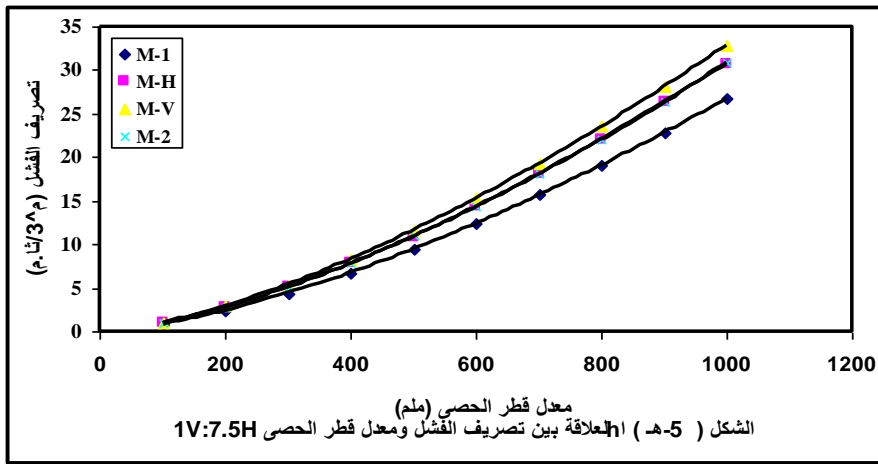
الشكل (2) القناة المختبرية











الجدول (1): الأبعاد المهمة في النماذج المستخدمة.

1V:7.5H	1V:5H	1V:4H	1V:3H	1V:2.5H	الميل	
3.75	2.5	2.0	1.50	1.25	المسافة الأفقية لسفح المؤخر (م)	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	المسافة الرأسية (م)	2
3.78	2.55	2.06	1.58	1.346	طول الميل الرئيسي لسفح المؤخر (م)	3
15.12	10.2	8.24	6.32	5.38	عدد الصفوف	4
60.48	40.8	32.96	25.28	21.536	عدد السلال الصخرية على السفح NL=1	5
120.96	81.6	65.92	50.56	43.04	عدد السلال الصخرية على السفح NL=2	6
7.59	11.31	14.04	18.44	21.8	زاوية الميل (درجة)	7

الجدول (2): مواصفات الحصى المستخدم في الهدار والسللة الصخرية

Φ^0	D_s (ملم)	يرتد على منخل (ملم)	يمر من منخل (ملم)	نوع الحصى
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

الجدول (3) مواصفات السلال الصخرية المستخدمة في التجارب وبأبعاد (20 × 25) سم

Φ_g^0	a'	ρ_s (غم/سم ³)	الحجم (سم ³)	الكتلة (غرام)	D_s (ملم)
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	المعدل

الجدول (4) قيم المعاملات (a_1 و b_1) ومعامل التحديد (R^2) للمعادلة (2)

M-2			M-V			M-H			M-1			حالة وضع الكتلة
R^2	b_1	a_1	R^2	b_1	a_1	R^2	b_1	a_1	R^2	b_1	a_1	
0.937	-1.22	5.65	0.856	-1.07	8.29	0.936	-1.25	5.25	0.927	-1.32	4.25	1.51
0.955	-1.33	4.26	0.949	-1.19	6.21	0.952	-1.33	4.14	0.955	-1.41	3.16	1.22
0.984	-1.41	3.26	0.956	-1.22	5.06	0.975	-1.44	3.0	0.976	-1.41	2.67	1.05

الجدول (5) قيم المعاملات (a_2, b_2) ومعامل التحديد (R^2) للمعادلة (3)

M-2			M-V			M-H			M-1			حالة لوضع الميل
R^2	b_2	a_2	R^2	b_2	a_2	R^2	b_2	a_2	R^2	b_2	a_2	
0.988	0.223	6.92	0.959	0.177	9.54	0.965	0.247	6.18	0.84	0.211	5.86	1V:2.5H
0.999	0.67	3.38	0.968	0.691	4.22	0.964	0.594	3.92	0.987	0.692	2.6	1V:3H
0.975	0.635	4.68	0.892	0.528	7.34	0.984	0.691	3.85	0.997	0.776	2.68	1V:4H
0.977	0.408	10.6	0.999	0.629	7.195	0.969	0.449	9.116	0.995	0.594	5.38	1V:5H
0.91	0.125	44.189	0.9995	0.155	43.59	0.913	0.127	43.71	0.85	0.191	32.17	1V:7.5H

الجدول (6): النسبة المئوية لزيادة تصريف الفشل مع عدد طبقات السلال الصخرية

1V:7.5H			1V:5H			1V:4H			1V:3H			1V:2.5H			الميل الكتلة (كغم) حالة وضع السلال الصخرية
1.510	1.220	1.050	1.510	1.220	1.050	1.510	1.220	1.050	1.510	1.220	1.050	1.510	1.220	1.050	
57.14	56.3	50.11	34.35	27.4	22.72	30.1	22.61	17.55	21.92	18.23	13.57	11.5	10.13	9.92	M-1
النسبة المئوية لزيادة تصريف الفشل															
11.9	12.79	18.34	11.03	16.79	26.32	9.4	25.17	20.8	22.72	19.03	21.59	20.87	25.37	19.96	M-2
12.5	12.07	17.5	8.68	11.57	20.16	7.3	19.42	14.02	19.2	16.95	20.12	14.78	23.4	12.1	M-H
21.6	17.6	24.9	47.31	49.27	43.93	19.97	50.77	44.05	68.34	48.66	68.02	42.6	55.97	46.27	M-V

الجدول (7): كتلة وكثافة طبقة السلة الصخرية للكتل الثلاثة

1V:7.5H		1V:5H		1V:4H		1V:3H		1V:2.5H		الميل
M	ρ_s	M	ρ_s	M	ρ_s	ρ_s	M	ρ_s	M	كتلة السلة الصخرية (كغم)
كغم/م ²	كغم/م ³	كغم/م ²	كغم/م ³	كغم/م ²	كغم/م ³	كغم/م ³	كغم/م ²	كغم/م ³	كغم/م ²	
20.74	1866.85	20.74	1866.85	20.74	1866.85	1866.85	20.74	1866.85	20.74	1.050
24.099	1515.65	24.099	1515.65	24.099	1515.65	1515.65	24.099	1515.65	24.099	1.220
29.827	1340.55	29.827	1340.55	29.827	1340.55	1340.55	29.827	1340.55	29.827	1.510

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

(1V : 7.5H)			(1V : 5H)			(1V : 4H)			(1V : 3H)			(1V : 2.5H)			الميل كتلة السلة الصخرية(كغم)
C_f	q_r	q_r المقاس	C	q_r	q_r المقاس	C_f	q_r	q_r المقاس	C_f	q_r	q_r المقاس	C_f	q_r	q_r المقاس	
	المحسوب	لتر/(ثا.م)		المحسوب	لتر/(ثا.م)		المحسوب	لتر/(ثا.م)		المحسوب	لتر/(ثا.م)		المحسوب	لتر/(ثا.م)	
1.04	48	50.11	1.12	20.3	22.72	1.04	16.9	17.6	1.09	12.4	13.57	1.11	8.9	9.92	1.050
1.04	54.3	56.3	1.06	25.9	27.4	1.1	20.62	22.6	1.08	16.9	18.23	1.02	9.9	10.13	1.220
1.03	55.3	57.14	1.04	33	34.35	1.03	29.3	30.1	1.09	20.13	21.92	1.17	10.3	11.5	1.510

