دراسة تأثير عمق الماء الذيلي في الجرف مؤخر الهدارات الركامية المحمية

إبراهيم عادل إبراهيم محمد الحافظ[1] تحسين علي حسن جلميران[2]

الملخص

أُجريت في هذا البحث دراسة مختبرية لتأثير عمق الماء الذيلي في الجرف في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدارات الركامية المحمية، وقد تضمنت الدراسة حساب أقصى عمق نحر و أقصى طول لحفرة الجرف، ودراسة شكل الجرف الحاصل مؤخر هذه المنشآت. استخدمت ثلاثة أحجام من الحصى بمعدل أقطار (0.7935، 1.111، 1.5875)سم، لحماية الأرضية مؤخر المنشأ ذي ميل (1V:5H)، الأحجام كلّها من الحصى.

بينّت نتائج التجارب أنَّ هناك علاقة عكسية بين عمق حفرة الجرف وطولها مع النسبة بين عمق الماء الذيلي إلى معدل قطر مواد القاع (Tw/dm). وتم الحصول على معادلتين وضعيتين، الأولى– لحساب عمق الجرف النسبي (Ds) والثانية لحساب طول حفرة الجرف النسبي (Ls).

[1] مدرس مساعد– مركز بحوث السدود والموارد المائية– جامعة الموصل.

[2] مدرس مساعد– مركز بحوث السدود والموارد المائية– جامعة الموصل.

1. مقدمة

تعدُّ الهدارات الركامية من المنشآت الهيدروليكية المهمة المقامة على الأنهر والقنوات المفتوحة للسيطرة على المياه وقياس التصريف ورفع مستوى الماء لغرض الإرواء في مقدمة الهدار.

طُوِّرَ تصميم الهدارات الركامية ذات الجريان الفوقي بحيث تكون أكثر اقتصادية في إنشاء الهدارات، وذلك كونها ذات مسيل ذاتي ولا تحتاج إلى مسيل مائي تقليدي، وفي الوقت ذاته يؤدي جريان الماء فوق السطح الخشن إلى الحماية والتقائه مع الجريان الخلالي في الجزء الأخير من السطح المؤخر إلى تبديد الطاقة وتهدئة الجريان في مؤخر الهدار للحصول على إقل ضرر للتعرية والجرف (حياوي، 2006).

يعدُّ الماء الذيلي من العناصر المهمة التي تساعد على تقليل طول حفرة الجرف وعمقها. وعليه درس في هذا البحث تأثير أعماق متعددة من الماء الذيلي للتصريف والميل نفسه في عملية الجرف الحاصلة مؤخر الهدار الركامي المحمي لثلاثة أنواع من الحصى.

2. الدراسات السابقة

قام الباحث جيكر (Jaeger, 1939) باشتقاق معادلة اعتمدت في حساب عمق الجرف مؤخر المساقط العمودية على المتغيرات (q, H, d) مضافاً إليها عمق الماء الذيلي Tw وقد توصل إلى الصيغة الآتية:

$$D_s = 0.6\, q^{0.5}\, H^{0.25} \left(\frac{T_w}{d}\right)^{0.333} \quad ...(1)$$

إذ أنّ:

D_s = عمق الجرف مؤخر الهدار.

q = التصريف لوحدة عرض.

H = الفرق بين مستوى الماء مقدم ومؤخر الهدار.

T_w = عمق الماء الذيلي.

d = طول ضلع مكعب المادة المستخدمة في حماية الأرضية مؤخر المساقط العمودية.

كما طورت صيغة أخرى لحساب عمق الجرف من قبل الباحث مارتنز (Martins, 1973) (مذكور في Mason and Kanapathypilly,1985) واستنتجت من تجارب تضمنت تصريف بثق مركز على أرضية عريضة متكونة من مكعبات مكدسة كما في المعادلة الآتية:

$$D_s = 0.14\, N - 0.73\, \frac{T_w^{\,2}}{N} + 1.7\, Tw \quad ....(2)$$

إذْ إنَّ :

$$N = 7 \sqrt{\frac{Q^3 H^{1.5}}{d^2}} \quad ..... (3)$$

إذ إن:

Q = التصريف الكلي

كما أعطى مكتب الولايات المتحدة الأمريكية للاستصلاح(U.S. Bureau of Reclamation, 1995) معادلة لحساب عمق الجرف مؤخر المساقط العمودية وهي:

$$D_s = k\, H^{0.225}\, q^{0.54} - Tw \quad ....(4)$$

إذ إنَّ :

k = معامل يساوي (1.9).

كما قام الباحث (داؤد، 1995) بدراسة تأثير تغير مستوى الماء في النهر في عمق الجرف الناتج من سقوط الماء من المطفح القافز. وقد أجرى خمسين تجربة في قناة مختبرية ذات قعر متحرك من الرمل النهري الطبيعي، وكان معدل أقطار حبيبات الرمل المستخدم 0.75 ملم. كما استخدم الباحث تصريفاً ثابتاً للمطفح القافز مقداره (3.57 لتر / ثا)، وخمسة تصاريف مختلفة في القناة تراوحت بين (0.67 لتر/ثا

– 2.804 لتر/ثا)، وفي كل تصريف تم التحكم بعمق الماء وتغيره عشر مرات باستخدام بوابة الكسح المثبتة في نهاية القناة. أظهرت نتائج دراسته أن عمق الجرف يقل بزيادة عمق الماء الذيلي مع بقاء تصريف المطفح والقناة ثابتاً، وأن نسبة الانخفاض في العمق تراوحت بين (5.4% - 56.6%) من عمق الجرف الأولي بزيادة في عمق الماء في القناة تراوحت بين (14% -114%) من العمق الأولي للماء، كما درس الباحث العلاقة بين عمق الجرف وقطر المواد المستخدمة ورقم فرود وقد لاحظ وجود علاقة عكسية بينهما.

وتوصل الباحث داؤد إلى علاقة لا بعدية لحساب عمق الجرف وبمعامل ارتباط (0.996) وهي:

$$\frac{D_s}{D_m} = 1.217\,F + 0.00009191\frac{v}{V} + 0.274\frac{H'}{D_m} - 0.4 \quad \ldots(5)$$

Dm = معدل قطر مواد القاع.

H' = المسافة العمودية بين خط الطاقة في المسيل وسطح الماء في القناة (مقدار السقوط).

V = معدل سرعة الجريان في منطقة سقوط ماء المسيل.

v = سرعة الماء الساقط من المطفح عند ارتطامه بسطح الماء في القناة.

F = رقم فرود.

وكذلك حصل الباحث (داؤد، 1995) على المعادلة الآتية لحساب عمق الجرف وبمعامل ارتباط (0.978):–

$$D_S = 1.912 * 10^{-5}\ \frac{T_W^{0.0197}\ H^{3.433}}{v^{0.0276}} \quad \ldots(6)$$

قام الباحثان نوري والحافظ (Noori and Al-Hafith, 2005) بدراسة مكثفة للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلثية من المنظور الأفقي، وتوصلا إلى معادلات لحساب عمق حفرة الجرف وطولها بدلالة رقم فرود لكثافة مواد القاع والفرق بين سطح الماء مقدم الهدار ومؤخره وارتفاع الهدار فضلاً عن دراسة تأثير ارتفاع الماء الذيلي في حفرة الجرف وتوصلا إلى علاقة خطية عكسية بين عمق حفرة الجرف وطولها وبين ارتفاع الماء الذيلي.

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 0.6255 \times \left(\frac{(Fr_o)^{1.144} \times (\mathrm{H})^{0.296} \times (\mathrm{P})^{0.42018}}{(T_w)^{0.71618}} \right) \ldots(7)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = 4.0268 \times \left(\frac{(Fr_o)^{0.9825} \times (\mathrm{P})^{0.7067}}{(T_w)^{0.3401} \times (\mathrm{H})^{0.3666}} \right) \ldots(8)$$

إذ إنَّ:

Ls= طول حفرة الجرف.

D50 = معدل قطر مواد القاع.

Fro = رقم فرود بدلالة كثافة مواد القاع.

P = ارتفاع الهدار.

3. التحليل البعدي

اعتمد عمق الماء الذيلي كمتغير أساسي لدراسة تأثيره في عمق حفرة الجرف وطولها مع تثبيت كل من التصريف والميل لذا اعتمدت المتغيرات الآتية كمتغيرات أساسية في المعادلة:

$$Ds = f(dm, \rho s, \rho_w, \mu, g, T_w) \ldots(9)$$

إذ أن :

dm = معدل قطر مواد القاع.

ρs = كثافة مواد القاع.

ρ_w = كثافة الماء.

μ = اللزوجة التحريكية للماء.

g = تسارع الجاذبية الأرضي.

وباستخدام نظرية بأي للتحليل البعدي يمكن صياغة العلاقة (9) على النحو الآتي:

$$\frac{Ds}{dm} = f\left(\frac{Tw}{dm}, \frac{\rho s}{\rho w}, Re, Fr\right) \ldots(10)$$

كما يمكن صياغة علاقة لا بعدية لطول حفرة الجرف بالشكل الآتي:

$$\frac{Ls}{dm} = f\left(\frac{Tw}{dm}, \frac{\rho s}{\rho w}, Re, Fr\right) \ldots.(11)$$

إذ إنَّ:

Ds/dm = نسبة عمق الجرف إلى معدل قطر مواد القاع.

Ls/dm = نسبة طول حفرة الجرف إلى معدل قطر مواد القاع.

T_w/dm = نسبة عمق الماء الذيلي إلى معدل قطر مواد القاع.

ρs/ρw = النسبة بين كثافة مواد القاع إلى كثافة الماء.

Re = رقم رينولد للجريان ويساوي ($q\rho/\mu$).

Fr = رقم فرود ($v/\sqrt{gdm}$).

عندما تكون قيم رقم رينولدز عالية يصل الجريان إلى الاضطراب الكامل وعندها يضمحل تأثيره في القنوات المفتوحة الخشنة، وبذلك يمكن إهماله (Chow,1959). ويمكن كتابة المعادلات (10، 11) كالآتي:

$$\frac{Ds}{dm} = f\left(\frac{Tw}{dm}, \frac{\rho s}{\rho w}, Fr\right) \ldots.(12)$$

$$\frac{Ls}{dm} = f\left(\frac{Tw}{dm}, \frac{\rho s}{\rho w}, Fr\right) \ldots\ldots..(13)$$

4. العمل المختبري

إنَّ القناة المستخدمة في التجارب مشيدة من الخرسانة بطول (24.64 م)، وعرض (0.81 م)، وعمق (0.76 م)، لاحظ الشكل (1)، ومثبت على جداري القناة مقاطع من الألمنيوم (دكسن) على شكل زاوية وبشكل أفقي لغرض تثبيت مقياس العمق (Point Gauge) عليه. تحتوي القناة على نافذتين زجاجيتين بأبعاد (0.5×1 م) مثبتة على الجانب الأيسر وعلى مسافة (12م و 17.22 م) من بداية القناة على التوالي. تتصل القناة في مقدمتها بحوض التغذية بأبعاد (2.25 م × 1.25م) وبعمق (1.2 م)، حيث يصل الماء إلى حوض مقدم القناة بأنبوب قطره (15.24 سم) مثبت عليه صمام للتحكم بكمية التصريف، ويأخذ الأنبوب الماء من خزان أرضي في المختبر بوساطة مضخة يصل تصريفها التصميمي إلى (100 لتر/ثا).

رُفِعَ مستوى أرضية القناة بمقدار (30 سم) من بداية القناة بطول (3.44 م) يأتي بعدهُ حوض تهدئة، بأبعاد (3.0 م × 0.81 م)، وبعمق (0.3 م) كما مبين في الشكل (1)، بعدها تم تثبيت بوابة التحكم بعمق الماء نهاية حوض التهدئة، وتثبيت مقياسين للعمق على عربة تتحرك على طول القناة لأخذ القياسات، الأول – لقراءة عمق الماء الذيلي (Tailwater) في أثناء التشغيل، والثاني – لقياس عمق حفرة الجرف الحاصلة مؤخر الهدار وطولها.

يتصل بنهاية القناة حوض التصريف، وهي عبارة عن قناة بطول (8 م)، وعمق (1.2 م)، وعرض (0.81م) ويوجد في نهايته تخصر بطول (1.84 م)، وارتفاع (0.5م) ثُبِّت فيه هدار حديد بمقطع (17 سم × 49.6 سم)، وسمك (0.6 سم) لقياس تصريف الماء في القناة، وفي الجهة اليسرى للحوض وعلى بعد (1.75 م) من الهدار توجد بئر من الخرسانة بأبعاد (15 سم × 15 سم)، وبعمق (0.6 م)، إحدى جهاتها زجاجية لكي يمكن ملاحظة مستوى سطح الماء فوق الهدار وقياسه بوساطة مقياس مثبت على الجزء الزجاجي منه.

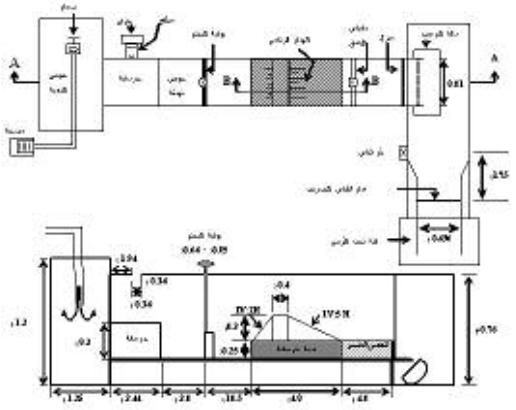
ونظراً إلى طول المدة الزمنية اللازمة لحصول الاستقرار في عملية الجرف، ولكون كفاءة المضخة المجهزة للماء تتناقص إلى (75 %) تقريباً، فقد تم تجاوز هذه المشكلة بطريقة عمل مطفح جانبي بأبعاد (34 سم × 34 سم)، وعلى مسافة (1.94 م) من بداية

القناة للحفاظ على شحنة ثابتة في مقدم بوابة التحكم، ومن ثَمَّ الحصول على تصريف مستقر مع الزمن.

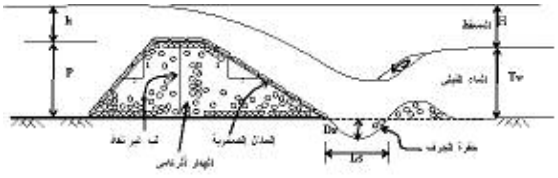
أنشئ الهدار الركامي على صبة خرسانية بارتفاع (0.25م) وطول (2.5)م، حيث كان ميل سفح المقدم (1V : 2H) وميل سفح المؤخر (1V: 5H). تم تثبيت قطعة بلاستيكية بابعاد (81سم×30سم) وبسمك (0.6سم) لتمثل لب الهدار التي تم تثبتها بجدار القناة بشكل عمودي ومحكم، بعدها تم فرش الحصى مقدم اللب ومؤخره فوق الصبة الخرسانية مكوناً جسم الهدار، واستخدم حصى بمعدل قطر (1.111سم) ثم فرشت فوقه سلال حصوية مستطيلة صنعت من أكياس مشبكة من النايلون بأبعاد (25سم × 20سم) معبأة بحصى معدل قطره (1.59سم) وبمعدل وزن (1150)غم صفت بطريقة الحل والشد. أما عرض قمة الهدار فقد كان (40سم) (حياوي،2006). والشكل (1) يوضح مسقطاً رأسياً ومقطعاً طولياً للقناة المختبرية المستخدمة مع مخطط توضيحي لأحد نماذج الدراسة.

تتلخص خطوات إجراء التجارب فرش الحصى مؤخر المنشأ بسمك (25سم) وطول (4م) ويتم التأكد من استواء الحصى بواسطة وزان البناء ذي الفقاعة الهوائية ويتم تصفير مقياس العمق على سطح الحصى واعتباره المستوي المعتمد كنقطة قياس أي نقطة الصفر، ويتم تثبيت مقدار فتحة بوابة التحكم لإمرار عمق الماء المطلوب فوق الهدار، وقد اعتمد تصريف ثابت لكل التجارب مقداره (20 l/sec/m) تم احتسابه بواسطة هدار قياسي ضمن المواصفات البريطانية (British Standard Institution, 1985)الذي تمّت معايرته بالطريقة الحجمية وبشكل دقيق تصل دقته إلى 0.2l/sec/m. تشغل مضخة التجهيز ويفتح صمام السيطرة ببطء إلى أن يتم الحصول على التصريف المطلوب.

بعدها يراقب الجريان في القناة إلى حين الحصول على استقرار لسطح الماء وبعد مرور عدة ساعات من التشغيل والتأكد من توقف الجرف تماماً يتم إيقاف المضخة والانتظار إلى حين بزل الماء.



المقطع (A-A)، الرسم دون مقياس



المقطع (B-B): مخطط توضيحي للهدار الركامي والجرف في أثناء التشغيل

شكل (1) القناة المختبرية المستخدمة مع مخطط توضيحي لأحد النماذج

تعاد التجربة بقطر الحصى المستخدم والتصريف والميل نفسه ولكن بعد غلق المبزل بقطعة خشبية بارتفاع (25، 27.5، 30، 32.5) سم أربع مرات على التوالي فضلاً عن إلى الحالة الأولى التي يكون فيها الجريان حراً دون حاجز، حيث سيرتفع عمق الماء الذيلي في كل مرة أكثر من التي سبقتها.

تقاس مستويات القاع مؤخر الهدار الركامي طولياً وعرضياً بعد كل تجربة وعلى مسافة (4سم) طولياً و (8سم) عرضياً بين نقطة وأخرى لتحديد شكل القاع

وأعماق الجرف الحاصل قيست أعماق الجرف بواسطة مقياس العمق (Point Gauge) الذي تصل دقت قياسه إلى (0.1)ملم. تفاصيل برنامج التجارب المختبرية موضحة في الجدول (1). استخدمت ثلاثة أحجام من الحصى مؤخر الهدار، الحجم الأول مار من منخل (9.525ملم) ومرتد على منخل (6.35ملم) أما الحجم الثاني فمار من منخل (12.7ملم) ومرتد على منخل (9.525ملم) والثالث مار من منخل (19.05ملم) ومرتد على منخل (12.7ملم). أما الكثافة الكتلية للنماذج المستخدمة فكانت 2660كغم/م^3.

جدول (1) : برنامج التجارب المختبرية

رقم التجربة	معدل قطر مواد القاع dm(سم)	عمق الماء الذيلي (سم)	عمق الجرف Ds (سم)	طول حفرة الجرف Ls (سم)	ارتفاع الحاجز (سم)
1	0.7935	10.5	4	28.0	بدون حاجز
2	0.7935	11.2	3.5	26.5	25
3	0.7935	11.9	3.2	25.0	27.5
4	0.7935	12.6	2.8	23.7	30
5	0.7935	13.3	2.2	22.9	32.5
6	1.111	10.5	3.1	24.0	بدون حاجز
7	1.111	11.2	2.75	22.5	25
8	1.111	11.9	2.5	21.0	27.5
9	1.111	12.6	2.1	20.6	30
10	1.111	13.3	1.8	19.7	32.5
11	1.5875	10.5	2.8	20.0	بدون حاجز
12	1.5875	11.2	2.5	18.5	25
13	1.5875	11.9	2.2	17.7	27.5
14	1.5875	12.6	1.8	16.9	30
15	1.5875	13.3	1.5	16.0	32.5

5. تحليل النتائج ومناقشتها:

1.5 العلاقة بين خصائص حفرة الجرف و المتغيرات اللابعدية

1.1.5 العلاقة بين عمق الجرف والنسبة بين عمق الماء الذيلي إلى معدل قطر مواد القاع (T_w/dm).

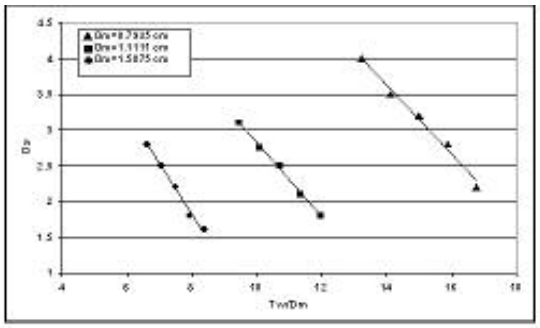
إن الغرض من البحث معرفة أهمية تأثير عمق الماء الذيلي إلى معدل قطر مواد القاع (T_w/dm)في عمق الجرف حللت البيانات المختبرية، ووُجد أنَّ العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بين عمق الجرف وهذه النسبة، كما يأتي:

$$D_s = a_1 \times T_w/dm + b_1 \quad \ldots.(14)$$

استخدمت القياسات المختبرية التي تم الحصول عليها من التجارب لإيجاد قيم كل من (a_1) و (b_1) بثبوت التصريف والميل. وحسبت قيم هذه المعاملات للنماذج جميعها كما في الجدول (2) مع معامل التحديد للمعادلات. ولتوضيح تأثير (T_w/dm) في عمق الجرف رسمت العلاقة بينهما، للميل (1V:5H) ولنماذج الحصى الثلاثة المستخدمة في الدراسة كما موضحة في الشكل (2) حيث تراوحت قيم معامل الارتباط (R) مابين (0.9936) و(0.996) أما معامل التحديد (R^2) فقد تراوحت قيمه ما بين (0.987) و (0.992)، كما لوحظ أنّه كلما زاد عمق الماء الذيلي قل عمق الجرف، وذلك أنّ زيادة ارتفاع الماء الذيلي يؤدي إلى زيادة تبديد طاقة الماء الساقط المنحدر فوق الهدار نتيجة لارتطامه بالماء الذيلي قبل الوصول إلى الحصى المفروش نهاية الهدار.

الجدول (2): قيم المعاملات a_1 و b_1 ومعامل التحديد للمعادلة (14)

النموذج A (dm = 0.7935سم)			النموذج B (dm = 1.111 سم)			النموذج C (dm = 1.5875 سم)		
a_1	b_1	R^2	a_1	b_1	R^2	a_1	b_1	R^2
-0.486	10.441	0.987	-0.516	7.975	0.996	-0.704	7.457	0.992



الشكل (2): العلاقة بين عمق الجرف و (Tw/dm)

2.1.5 العلاقة بين طول حفرة الجرف والنسبة بين عمق الماء الذيلي إلى معدل قطر مواد القاع (T_w/dm).

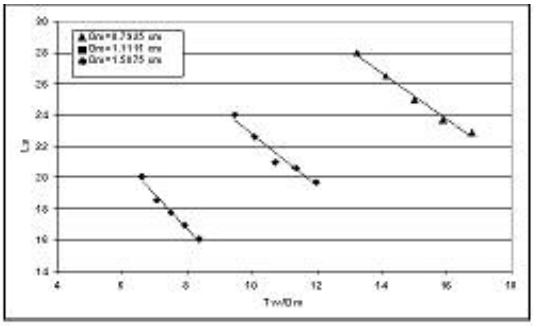
نظراً إلى أهمية دراسة طول حفرة الجرف وعلاقتها مع (T_w/dm) حللت البيانات المختبرية ووُجِدَ أنَّ العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بين طول حفرة الجرف وهذه النسبة كما يأتي:

$$L_s = a_2 \times (T_w/dm) + b_2 \quad \ldots(15)$$

تم إيجاد قيم (a_2) و(b_2) بثبوت كل من التصريف والميل كما هي موضحة في الجدول (3) مع معامل التحديد للمعادلات. كما رسمت العلاقة بين (T_w/dm) وطول حفرة الجرف للميل (1V:5H) ولنماذج الحصى الثلاثة المستخدمة في الدراسة كما في الشكل (3)، حيث تراوحت قيم الارتباط (R) مابين (0.978) و (0.994) أما قيم معامل التحديد (R^2) فقد تراوحت قيمه بين (0.956) و (0.988) إذْ يلاحظ من الشكل (3) أنَّه كلما ازداد ارتفاع الماء الذيلي قل امتداد طول حفرة الجرف المتكونة خلف الهدار وذلك أنَّ زيادة ارتفاع الماء الذيلي يؤدي إلى زيادة تبديد طاقة الماء الساقط المنحدر فوق الهدار نتيجة لارتطامه بالماء الذيلي قبل الوصول إلى الحصى المفروش نهاية الهدار. عليه إنّ طول حفرة الجرف يتناسب تناسباً عكسياً مع عمق الماء الذيلي بثبوت كل من الميل والتصريف.

الجدول (3): قيم المعاملات a_2 و b_2 ومعامل التحديد للمعادلة (15)

النموذج A (dm = 0.7937سم)			النموذج B (dm = 1.111 سم)			النموذج C (dm = 1.5875 سم)		
a_2	b_2	R^2	A_2	b_2	R^2	a_2	b_2	R^2
-1.473	47.301	0.988	-1.683	39.6	0.956	-2.182	34.17	0.982



الشكل (3) : العلاقة بين طول حفرة الجرف و (Tw/dm)

وتستخدم المعادلات (14 ، 15) لمدى يتراوح مابين ($6.6 \le T_w/d_m \le 16.76$).

6. تأثير المتغيرات البعدية في خصائص حفرة الجرف

من المهم معرفة تأثير المتغيرات البعدية في خصائص حفرة الجرف ونسبة الزيادة في هذه المتغيرات مع الزيادة والنقصان في عمق حفرة الجرف وطولها. إذْ تم تغيير عمق الماء الذيلي لدراسة تأثيره في طول حفرة الجرف وعمقها. وقد لوحظ أنه بزيادة عمق الماء الذيلي يقل عمق حفرة الجرف وطول، والجداول (4) و (5) توضح النسبة المئوية للزيادة في عمق الماء الذيلي مع النسبة المئوية للنقصان في عمق حفرة الجرف وطولها على التوالي.

جدول (4): نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي مع نسبة النقصان في عمق الجرف

نسب الزيادة في عمق الماء الذيلي %Tw	نسبة النقصان في عمق الجرف (Ds)%	
	(اقل نسبة –أعلى نسبة) للنقصان	معدل نسبة النقصان
6.666	(12.50–10.70) %	% 11.50
13.33	(21.40–19.35) %	% 20.25
20.00	(35.70–30.00) %	% 32.65
26.66	(45.00–41.93) %	% 43.26

جدول (5): نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي مع نسبة النقصان في طول حفرة الجرف

نسب الزيادة في عمق الماء الذيلي %Tw	نسبة النقصان في طول حفرة الجرف %(Ls)	
	(اقل نسبة –أعلى نسبة) للنقصان	معدل نسبة النقصان
6.666	% (7.5 – 5.357)	%6.369
13.33	%(12.5–10.714)	%11.571
20.00	%(15.5–14.167)	%14.975
26.66	%(20.0–17.917)	%18.829

7. الاستنتاجات

1. تم الحصول على علاقة عكسية بين عمق الجرف (D_s) والنسبة بين عمق الماء الذيلي إلى معدل قطر مواد القاع (Tw/dm). واتضح بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تصف تأثير هذه النسبة في عمق الجرف علاقة (14).

2. اتضح بأن هناك علاقة عكسية بين طول حفرة الجرف (L_s) و (Tw/dm) وأنَّ العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تصف تأثير هذه النسبة في طول حفرة الجرف علاقة (15).

8. المصادر

1. حياوي، غنية عبد المجيد، (2006)، "دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية"، أطروحة دكتوراه، قسم الموارد المائية، كلية الهندسة، جامعة الموصل، كانون الثاني.

2. داؤد، علاء مؤيد (1995) "العلاقة بين عمق الماء والجرف في مؤخر المطفح القافز"، رسالة ماجستير مقدمة إلى كلية الهندسة بجامعة الموصل، في قسم هندسة الري والبزل، كانون الثاني.

3. نوري، بهزاد محمد علي والحافظ، إبراهيم عادل إبراهيم، (2007)، "دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر السدود الغاطسة المثلثية من المنظور الأفقي". مجلة هندسة الرافدين، المجلد 15 العدد 2.

4. Jaeger, C. (1939), "Ueber die Achnlichkeit bei Flussaulichen Modeellrer suchen", W.U.W. 34, No. 23-24, 269.

5. Mason, P.J. and Kanapathypilly, A. (1985), "Free Jet Scour Below Dams and Flip Buckets", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 111, No.2, FEB.

6. US.B.R. (1995), "Stream Stability at Highway Structures" Hydraulic Engineering Circular No.20, Federal Highway Administration.

7. Chow, V.T. (1959), "Open Channel Hydraulics", Mac Graw – Hill International Company, International Student Edition.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2008/12/16.