

دراسة مختبرية للنحر مؤخر الهدارات الركامية المحمية بالسلال الحصوية

ابراهيم عادل ابراهيم محمد الحافظ
مدرس مساعد
مركز بحوث السدود والموارد المائية
جامعة الموصل

الدكتور بهزاد محمد علي نوري
أستاذ مساعد
قسم هندسة الموارد المائية
كلية الهندسة – جامعة الموصل

الخلاصة

تم في هذا البحث إجراء دراسة مختبرية لظاهرة النحر في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدارات الركامية المحمية بالسلال الحصوية، حيث تضمنت الدراسة حساب أقصى عمق نحر و أقصى طول لحفرة النحر، ودراسة شكل النحر الحاصل مؤخر هذه المنشآت. تم استخدام ثلاثة أحجام من الحصى بمعدل أقطار (0.7937، 1.111، 1.5875) سم لحماية الأرضية مؤخر ميل (1V:5H, 1V:7.5H, 1V:10H). بينت نتائج تجارب الدراسة بأن هناك علاقة طردية قوية بين عمق النحر وطول حفرة النحر مع رقم فروود بدلالة كثافة مواد القاع وكذلك علاقة طردية قوية بين عمق النحر وطول حفرة النحر مع ميل المنشأ. وتم الحصول على معادلتين وضعيتين، الأولى- والثانية لحساب طول حفرة النحر النسبي.

Laboratory Study Of Scour Downstream Gabions Protecting Rockfill Weirs

Dr. Bahzad M.A.Noori
Assistant Professor
Dept. Of Water Resources
College of Engineering
University Of Mosul

Mr. Ibrahim A.I.Al-Hafith
Assistant Lecturer
Dams and Water Resources
Research Center
University Of Mosul

Abstract

In this research a laboratory study was carried out to investigate the scour phenomenon downstream gabions protecting rockfill weirs. The study includes the measurement of maximum scour depth and length of scour hole downstream the weir. The shape of scour hole was also studied. Three sizes of aggregate of diameters (0.7937, 1.111, 1.5875)cm were used as downstream bed protection. Three different downstream slopes (1V : 10H , 1V : 7.5H , 1V : 5H) were tested for all sizes of aggregate.

Laboratory results of this study showed a direct relation between scour depth and scour hole length with the densimetric particle Froude number; also, a direct relation with downstream slope. Two empirical

equations were obtained; one for the estimation of relative scour depth and the second for the estimation of relative length of scour hole.

Key word: Scour, aggregate beds, rockfill weirs.

قبل في 2007/2/15

أستلم في 2006/7/12

١. مقدمة

الهدارات الركامية من المنشآت الهيدروليكية المهمة التي تقام على الأنهر والقنوات للسيطرة على مياه الفيضانات وخرن جزء من الماء خلف جسم الهدار بينما يمر الجزء الأخر كجريان خلالي و فوقي (Through and Overtopping Flow).

تم تطوير القاعدة القديمة لتصميم السدود وذلك بالجريان الفوقي وتعد هذه الطريقة أكثر اقتصادية في إنشاء السد لكونه ذاتي المسيل فلا يحتاج إلى مسيل مائي تقليدي وفي نفس الوقت يؤدي جريان الماء فوق السطح الخشن للحماية والتقاءه مع الجريان الخلالي في الجزء الأخير من السطح المؤخر إلى تبديد الطاقة بشكل كبير فتتم تهدئة الجريان الواصل إلى مؤخر السد ليكون ضرراً من ناحية التعرية والنحر (حياوي،).

يعد الجانب الاقتصادي من الجوانب المهمة التي تؤخذ بنظر الاعتبار في تشييد هذا النوع من المنشآت الهيدروليكية لذا يجب الاستفادة من المواد الأولية المتوفرة في المنطقة التي تدخل في بناء هذا النوع من الهدارات كالأحجار والصخور. إن جريان الماء فوق السطح المؤخر شديد الانحدار يؤدي إلى تكون حفرة مؤخر السد تؤثر بصورة مباشرة على استقراره وضعف هذه قد يؤدي بالتالي إلى انهيار المنشأ وفشله.

إن الغاية الأساسية لهذا البحث هي دراسة ظاهرة النحر في الأرضيات الحصوية هدارات الركامية المحمية بالسلال الحصوية وذلك بقياس أقصى عمق نحر وأقصى طول لحفرة النحر لميول مختلفة للسطح المؤخر.

٢. الدراسات السابقة

لقد درس العديد من الباحثين ظاهرة النحر مؤخر المساقط العمودية للمنشآت الهيدروليكية ومنهم كوتولاس (Kotoulas, 1967) (Whittaker and Schleiss, 1984) و بيساز وتسكوب (Bisaz and Tschopp, 1972) (Pe et al., 1980) الولايات المتحدة الأمريكية للاستصلاح (U.S. Bureau of Reclamation, 1995) مق النحر اعتماداً على متغيرات عديدة كالتصريف لوحدة العرض، بعده، قطر مواد القاع، ارتفاع سطح الماء فوق قمة الفرق بين مستوى سطح الماء قبل

أجرى الباحثان سمث وميوري (Smith and Murray, 1975) دراسة مختبرية للمساقط المائلة المحمية بالحصى الكبير دون الوصول إلى معادلة لحساب عمق النحر ودرسا عدة عوامل وهي رفع القمة لتقليل تأثير سرعة الجريان المقرب ومنع ظاهرة تجمع الماء مقدم المنشأ واستخدما أرضية أفقية محمية مؤخر الميل الرئيسي للمنشأ وتم استخدام ثلاثة أقطار مختلفة لحصى الحماية وتم اختبار أربعة ميول (٤، ٥، ٦ و ٧) % وأعطت الدراسة علاقة بين عمق الجريان المنتظم (y) في نهاية الميل ومعدل قطر حصى الحماية (dm) والميل الرئيسي (S) وكما يلي:

$$y = 0.1 \text{ dm} / S \quad ()$$

واستنتجت الدراسة بان الفشل الابتدائي يحدث عندما يتجاوز العمق (y) قيمة (0.116dm/S).

نتيجة للمسح الذي أجري للمصادر المتوفرة وشبكة المعلومات اتضح بأنه لا توجد دراسات سابقة حول ظاهرة النحر مؤخر الهدارات الركامية المحمية فلذا تم التركيز على النحر خلف مساقط المنشآت الهيدروليكية حجرية الحماية. من الدراسات المهمة التي جرت ح النحر خلف مساقط المنشآت الهيدروليكية المائلة حجرية الحماية هي دراسة لورسن وآخرون (Laursen et al., 1986) والتي من خلالها تم التوصل الى المعادلة التالية لحساب عمق حفرة :

$$\frac{D_s}{y_c} = 4 \left(\frac{y_c}{d_m} \right)^{0.2} - 3 \left(\frac{d_r}{y_c} \right)^{0.1} \quad ()$$

$$\begin{aligned} D_s &= \text{منسوب سطح الماء الذيلي.} \\ y_c &= \text{قطر الحجر المستخدم لحماية المسقط المائل.} \\ d_r &= \text{منسوب سطح الماء الذيلي.} \\ d_m &= \text{قطر الحجر المستخدم لحماية المسقط المائل.} \end{aligned}$$

الباحثان وايتيكر وجاجي (Whittaker and Jaggi, 1986) المنشآت الهيدروليكية المائلة المحمية بالصخور وتوصلا الى المعادلة التالية لحساب عمق النحر بدلالة قطر حجر الحماية والعمق الحرج وميل المسقط ومعدل قطر مواد القاع:

$$\frac{D_s}{y_c} = 1.05 S^{-0.83} \left(\frac{D_{65}}{y_c} \right) - 7.13 \left(\frac{d_m}{y_c} \right) \quad (3)$$

$$D_{65} = \text{حجم فتحة المنخل الذي يمرر } \%$$

يمكن الملاحظة بأنه في () يدخل ميل سطح المؤخر (S) ضمن المتغيرات بينما لا يدخل الميل ضمن المتغيرات في المعادلة () وهذا يدل بأن استخدام المعادلة () هو اشمل وأدق لان الميل يجب أن يدخل كمتغير أساسي في ظاهرة النحر خلف المساقط المائلة.

قام الحافظ () نوري والحافظ (2006) بدراسة مكثفة للنحر في الارضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلية من المنظور الافقي وتوصلا الى معادلات لحساب عمق وطول حفرة النحر بدلالة رقم فرود لكثافة مواد القاع والفرق بين سطح الماء قبل الهدار وبعده وارتفاع الهدار وارتفاع الماء الذيلي.

إن عمق النحر الحاصل مؤخر الهدار الركامي (D_s) يعتمد على المتغيرات الموضحة في المعادلة التالية:

$$D_s = f(q, d_m, \rho_s, \rho_w, \mu, g, S) \quad (4)$$

:

q = التصريف المار فوق المنشأ لوحدة عرض.

d_m

ρ_s

ρ_w

μ = اللزوجة التحريكية للماء.

وباستخدام نظرية باي للتحليل البعدي يمكن صياغة العلاقة () :

$$\frac{D_s}{d_m} = f(Fr_o, S, Re) \quad (5)$$

كما يمكن صياغة علاقة لا بعدية لطول حفرة :

$$\frac{L_s}{d_m} = f(Fr_o, S, Re) \quad (6)$$

:

D_s/d_m

L_s/d_m

$Fr_o = \frac{q}{\sqrt{g(\rho_s - \rho_w)d_m^3}}$

$Re = \frac{q}{\mu}$ رينولدز للجريان ويساوي

$s = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$ = الفرق بين كثافة مواد القاع وكثافة الماء

عندما تكون قيم ارقام رينولدز عالية يصل الجريان إلى الاضطراب الكامل عندها يضمحل تأثير رقم رينولدز في القنوات المفتوحة الخشنة وبذلك يمكن إهماله (Chow, 1959).

ويمكن كتابة المعادلات () :

$$\frac{D_s}{d_m} = f (F_{ro}, S) \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{L_s}{d_m} = f (F_{ro}, S) \dots\dots\dots(8)$$

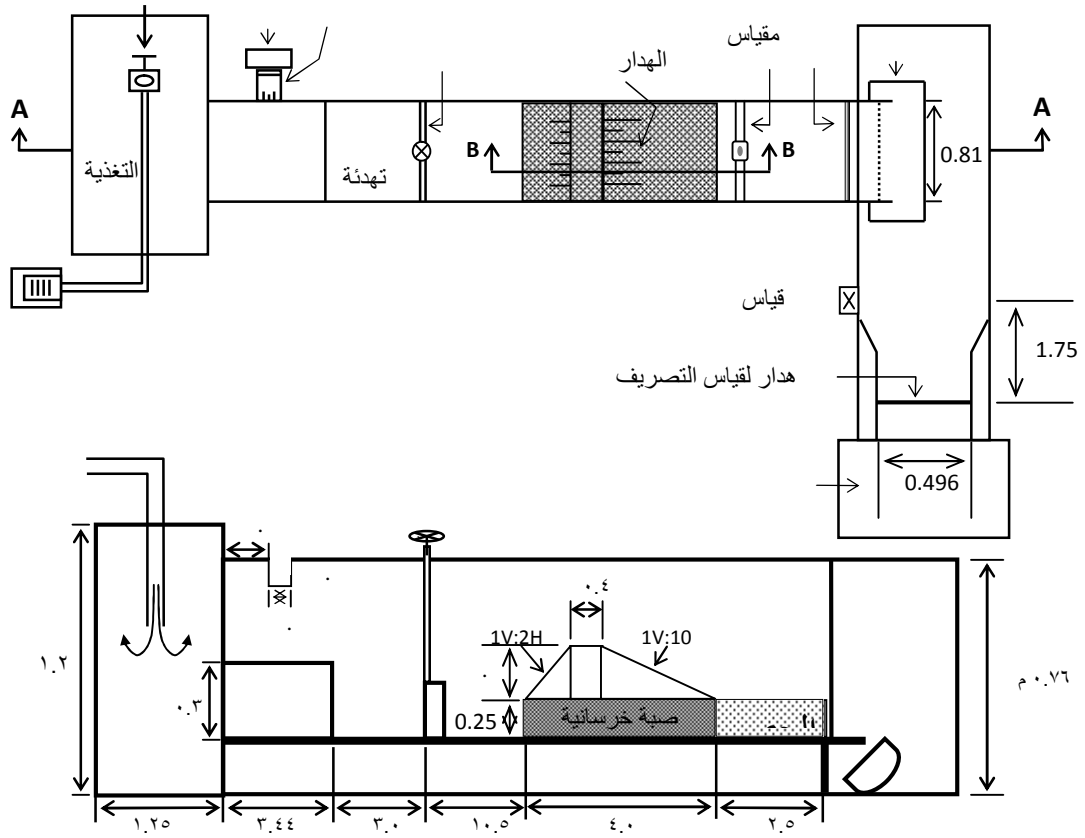
٤. العمل المختبري

اجري العمل المختبري في قناة مشيدة من الخرسانة ذات قعر ثابت بطول (.) (.) ومثبت على جداري القناة مقاطع من الالمنيوم على شكل زاوية وبشكل افقي ثبت مقياس العمق (Point Gauge) عليها. تتصل مقدمة القناة بحوض تغذية (. × .) يصل الماء الى الحوض بواسطة انبوب مثبت عليه صمام للسيطرة على التصريف ويأخذ الانبوب الماء من خزان ارضي بواسطة مضخة تصريفها التصميمي (لتر /) . تم تثبيت مقياس العمق على عربة تتحرك على طول القناة لاختذ قياسات شكل النحر. يتصل بنهاية القناة حوض التصريف ثبت فيه هدار حديدي بمقطع (. × .) لقياس تصريف الماء في القناة. وفي الجهة اليسرى للحوض (.) من الهدار يوجد بئر من الخرسانة احدي جهاته زجاجية لقياس منسوب سطح الماء فوق الهدار بواسطة مقياس للعمق.

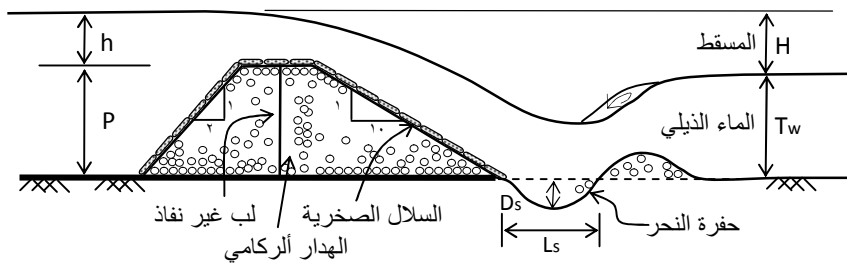
تم انشاء الهدار الركامي على صبة خرسانية بارتفاع (.) (هدار) وحسب ميل سفح المؤخر (1V: 5H, 1V:7.5H , 1V:10H) أما بالنسبة إلى ميل سفح المقدم فقد كان ثابتاً لكل النماذج (1V : 2H). يتكون لب السد الغاطس من قطعة بلاستيكية بأبعاد (. × .) تم تثبيتها بجدار القناة بشكل عمودي ومحكم، بعدها تم فرش قدم ومؤخر اللب فوق الصبة الخرسانية مكونا جسم الهدار وتم استخدام حصى بمعدل (.) ثم فرشت فوقه سلال حصوية مستطيلة بأبعاد (. × .) (.) وبطريقة الحل والشد. اما عرض قمة الهدار فقد كان (.) .

يلي: يثبت المنشأ أولاً بميل سفح المؤخر المطلوب ثم يفرش الحصى مؤخر المنشأ بسمك (سم) وأطوال (. .) للميول (1V: 5H, 1V:7.5H, 1V:10H) (الميل الأشد يحتاج طول أرضية أطول) ويتم التأكد من استواء الحصى بواسطة وزان البناء ذي الفقاعة الهوائية ويتم تصفير مقياس العمق على سطح الحصى واعتباره المستوى المعتمد كنقطة قياس أي نقطة الصفر، ويتم تثبيت مقدار فتحة بوابة التحكم لامرار عمق الماء المطلوب فوق الهدار. تشغل مضخة التجهيز ويفتح صمام السيطرة ببطء لغاية الحصول على التصريف المطلوب. بعدها يتم مراقبة الجريان في القناة لحين الحصول على استقرار لسطح الماء وبعد مرور عدة ساعات من التشغيل والتأكد من توقف النحر تماماً يتم ايقاف المضخة والانتظار لحين بزل الماء.

يتم قياس مناسيب القاع لأكثر من مائة نقطة مؤخر المنشأ طولياً و عرضياً بعد كل تجربة
() ياً و () عرضياً بين نقطة وأخرى لتحديد شكل القاع وأعماق النحر
() يوضح مسقطاً راسياً ومقطعاً طولياً للقناة المستخدمة والنموذج الأول للهدار
(ميل سفح المؤخر (1V : 10H)). تفاصيل برنامج التجارب المختبرية موضحة في الجدول
(). تم استخدام ثلاثة أحجام من الحصى مؤخر الهدار، الحجم الأول مار من منخل
(. .) (. .) (. .)
(. .) والثالث مار من منخل (. . ملم) ومرتد على منخل (. . ملم).
الكتلية للنماذج المستخدمة فكانت / .



المقطع (A-A)، الرسم بدون مقياس



المقطع (B-B): مخطط توضيحي للسد ألركامي والنحر أثناء التشغيل

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

جدول (١) : برنامج التجارب المختبرية

رقم التجربة	معدل قطر مواد القاع (سم) dm	ميل سفح المؤخر (S)	ارتفاع الماء فوق القمة h (سم)	ارتفاع الماء الذيلي Tw (سم)	مدى التصريف لكل وحدة عرض (لتر/ثا/م) q
٤-١	٠.٧٩٣٧	١:١٠	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
٨-٥	١.١١١	١:١٠	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
١٢-٩	١.٥٨٧٥	١:١٠	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
١٦-١٣	٠.٧٩٣٧	١:٧.٥	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
٢٠-١٧	١.١١١	١:٧.٥	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
٢٤-٢١	١.٥٨٧٥	١:٧.٥	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
٢٨-٢٥	٠.٧٩٣٧	١:٥	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
٣٢-٢٩	١.١١١	١:٥	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠
٣٦-٣٣	١.٥٨٧٥	١:٥	٨-٥	١٣.٥-١٠.٥	٤٦.٠-٢٠.٠

٥. تحليل ومناقشة النتائج

. العلاقة بين خصائص حفرة النحر و المتغيرات اللابعدية

٥.١.١ العلاقة بين عمق النحر ورقم فرود بدلالة كثافة مواد القاع

أظهر التحليل البعدي بأن رقم فرود بدلالة كثافة مواد القاع (Fro) له تأثيراً مهماً تم تحليل البيانات المختبرية، ووُجد بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بين Fro وكما يأتي:

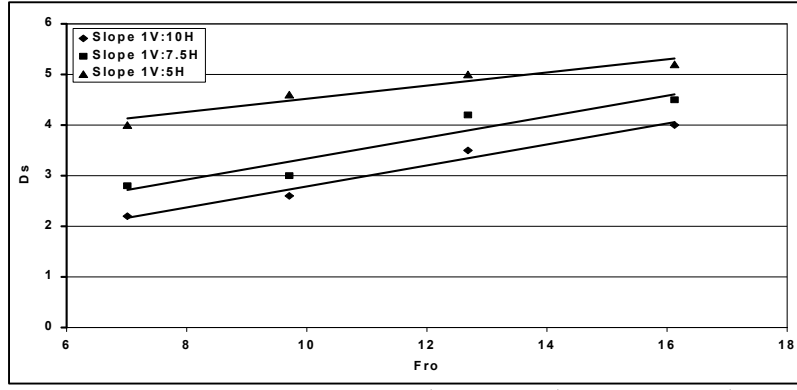
$$D_s = a_1 \times Fro + b_1 \quad ()$$

استخدمت القياسات المختبرية التي تم الحصول عليها من التجارب لايجاد قيم كل من (a_1) و (b_1) بثبوت قيم قطر الحصى المستخدم والميل. والتي تم توضيحها في (2) بين Fr_o للميول الثلاثة ولنماذج الحصى الثلاثة المستخدمة في الدراسة كما موضحة في الأشكال () حيث تراوح معامل (R) ما بين (.) (.) ومن هذه الاشكال يلاحظ انه بزيادة قيمة Fr_o يزداد عمق النحر وذلك بسبب زيادة التصريف (q)، الذي يرتبط ارتباطاً مباشراً بارتفاع الماء قمة الهدار (h).

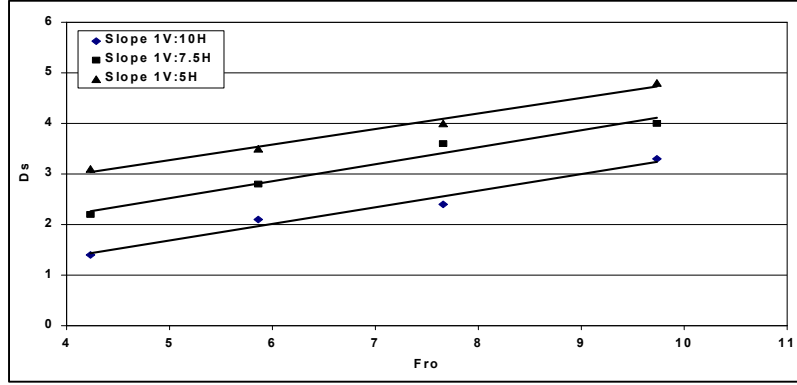
الجدول (٢): قيم المعاملات a_1 و b_1 ومعامل الارتباط للمعادلة (9)

الحالة	النموذج A ($dm = 0.7937$ سم)			النموذج B ($dm = 1.111$ سم)			النموذج C ($dm = 1.5875$ سم)		
	a_1	b_1	R	a_1	b_1	R	a_1	b_1	R
Slope 1:1	0.20	0.71	0.98	0.32	0.04	٠.٩٨	0.24	0.16	٠.٩٩

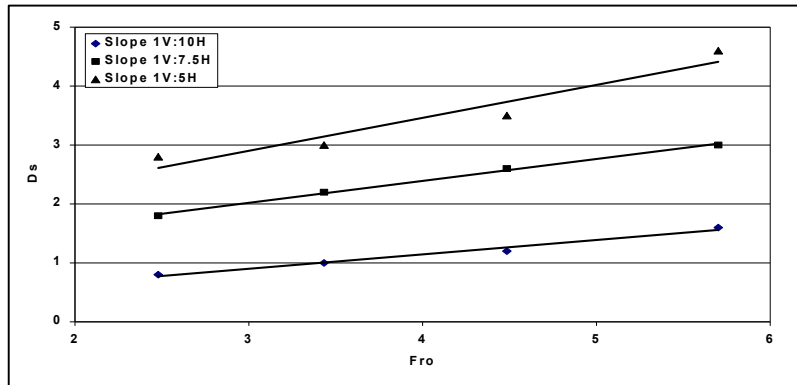
0	74	44	9	85	28	∇	42	72	∇
1:7.	0.20	1.26	0.95	0.33	0.83	∇	0.37	0.90	0.99
5	72	67	6	62	99	∇	2	28	9
1:5.	0.12	3.22	0.96	0.32	0.04	0.98	0.55	1.22	0.96
0	99	11	2	85	28	7	91	48	2



الشكل (٢): العلاقة بين عمق النحر و Fro لـ (dm = ٠.٧٩ سم)



الشكل (٣): العلاقة بين عمق النحر و Fro لـ (dm = 1.111 سم)



الشكل (٤): العلاقة بين عمق النحر و Fro لـ (dm = 1.58 سم)

٢.١.٥ العلاقة بين طول حفرة النحر ورقم فرود بدلالة كثافة مواد القاع

في المنشآت الهيدروليكية يكون طول الحماية الحجرية بطول حفرة النحر أو أكبر بقليل لذا فإن دراسة طول حفرة النحر مهماً في مثل هذه المنشآت. من تحليل البيانات المختبرية ظهر بأن أفضل علاقة بين طول حفرة النحر و Fro هي العلاقة الخطية وكما يلي:

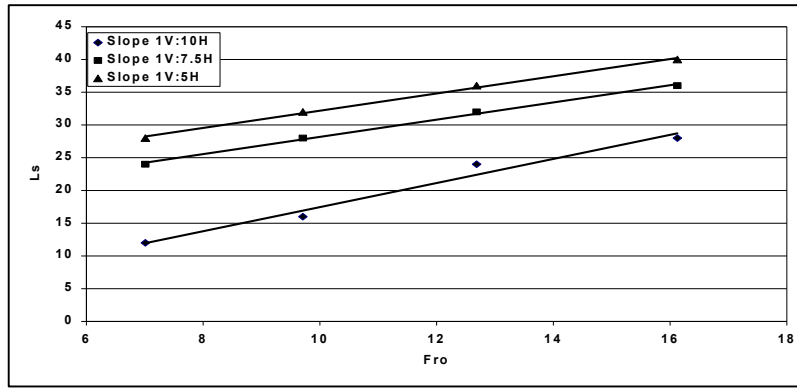
$$L_s = a_2 \times Fro + b \quad (1)$$

() يوضح قيم (a_2) بثبوت قيم قطر الحصى المستخدم والميل مع معامل لعلاقة بين (Fro) وطول حفرة النحر للميول () .

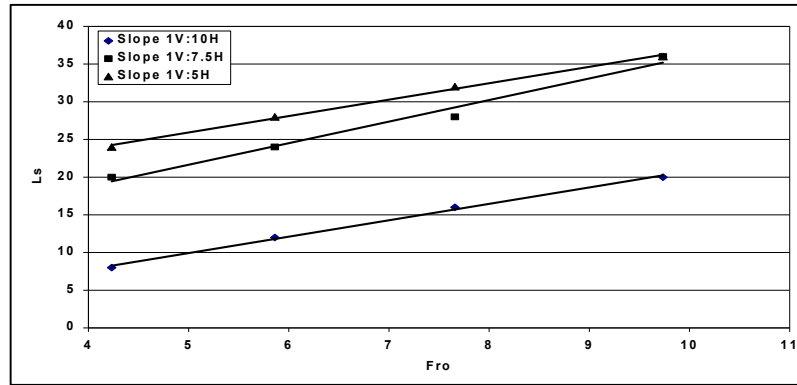
المستخدمة في الدراسة، حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.) (.) يلاحظ أن طول حفرة النحر يزداد طردياً مع زيادة قيم Fro.

الجدول (٣): قيم المعاملات a_2 و b_2 ومعامل الارتباط للمعادلة (10)

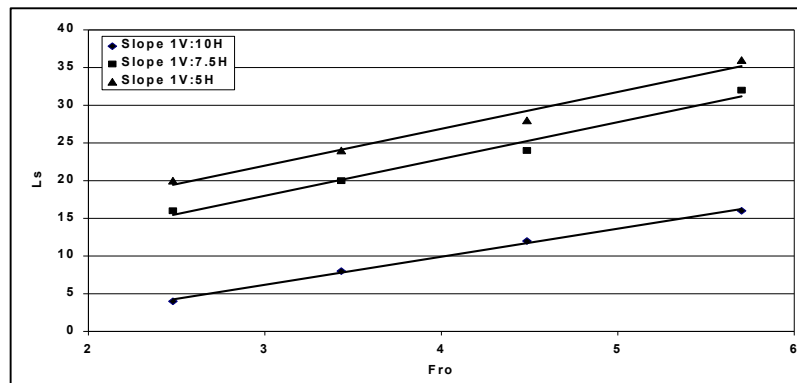
الحالة	النموذج A ($0.7937 = dm$)			النموذج B ($1.1112 = dm$)			النموذج C ($1.5875 = dm$)		
	a_2	b_2	R	a_2	b_2	R	a_2	b_2	R
1:10	1.839	0.942	0.988	2.179	0.972	0.999	3.720	4.972	0.999
1:7.5	1.315	15.028	0.999	2.860	7.344	0.991	4.884	3.344	0.991
1:5.0	1.315	19.028	0.999	2.178	15.02	0.999	4.884	7.344	0.991



الشكل (٥): العلاقة بين طول حفرة النحر و Fro لـ ($0.79 = dm$)



الشكل (٦): العلاقة بين طول حفرة النحر و Fro لـ ($1.11 = dm$)



الشكل (٧): العلاقة بين طول حفرة النحر و Fro لـ ($1.58 = dm$)

٢.٥ تأثير ميل السفح المؤخر (S) على خصائص حفرة النحر

. . العلاقة بين عمق النحر و ميل (S)

إن ميل السفح المؤخر يلعب دوراً أساسياً في تحديد كلفة الهدارات الركامية حيث أن زيادة ميل السفح المؤخر يقلل من كميات الركام المستخدم في إنشاء الهدار وبالتالي يقلل كلفة المنشأ وكذلك يقلل عدد السلالم المستخدمة للحماية وبالتالي يقلل كلفة الحماية المستخدمة. من تحليل البيانات المخبرية تبين أن عمق النحر يزداد مع ازدياد الميل (S) وُجِدَ بأن العلاقة الخطية هي التي تربط بين عمق النحر وميل سفح المؤخر يلي:-

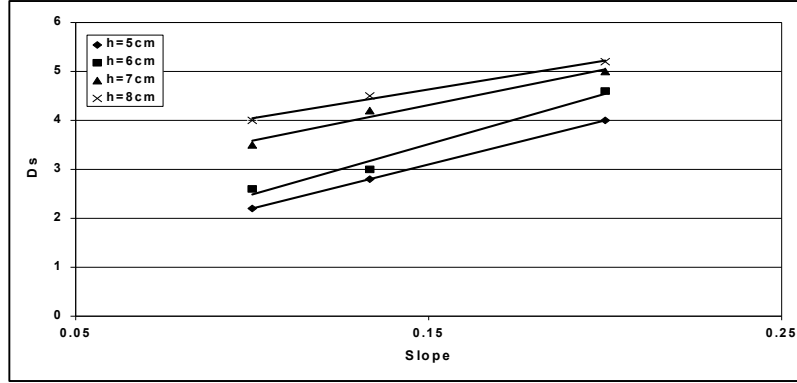
$$D_s = a_3 \times S + b_3 \quad ()$$

() يوضح قيم (a₃) (b₃) بثبوت قيم قطر التصريف
حساب قيم هذه المعاملات ولجميع النماذج مع معامل الارتباط للمعادلات. تم رسم العلاقة بين (S) عمق النحر للتصاريح الأربع ولنماذج الحا الثلاثة المستخدمة في الدراسة كما في ()، حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.) (.) حيث يلاحظ أن عمق النحر يتناسب طردياً زيادة الميل (S)، ويعزى السبب في ذلك إلى انه كلما زاد الميل قل مسار الماء فوق المنشأ مؤدياً إلى قلة تبدد الطاقة وتفاقم السرعة وزيادة قوة ارتطامه بالحصى نهاية سفح المؤخر مؤدياً إلى زيادة عمق النحر.

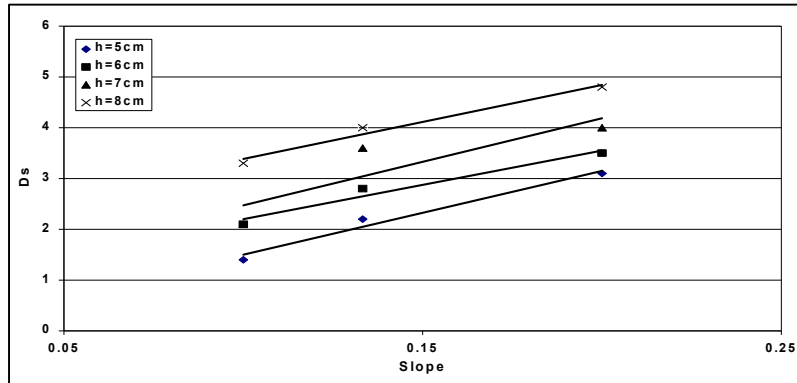
الجدول (٤): قيم المعاملات a₃ و b₃ ومعامل الارتباط للمعادلة (١١)

الحالة	النموذج A (0.7937 = dm سم)			النموذج B (1.112 = dm سم)			النموذج C (1.5875 = dm سم)		
	a ₃	b ₃	R	a ₃	b ₃	R	a ₃	b ₃	R
5	17.9 99	0.40 04	0.99 9	16.4 98	- 0.149	0.9 88	19.2 83	- 0.98 5	0.98 2
6	20.5 71	0.42 89	0.99	13.4 98	0.850 4	0.9 82	18.8 54	- 0.65	0.95 4

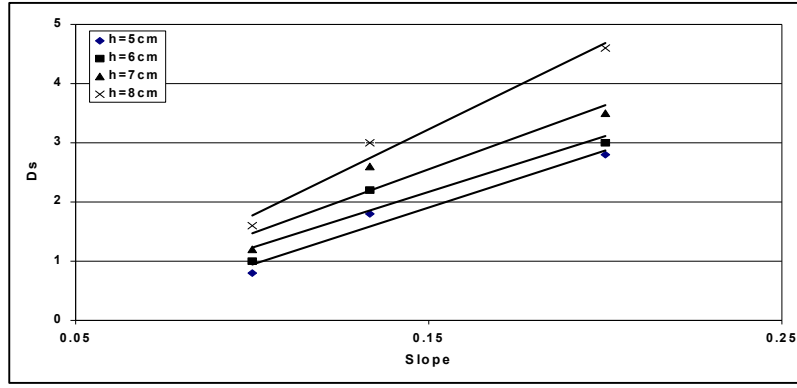
								6	
7	14.5 7	2.12 9	0.98 8	17.1 38	0.758	0.8 72	21.6 39	- 0.69 2	0.95 1
8	11.7 84	2.86 46	0.99 6	14.5 7	1.929	0.9 88	29.1 39	- 1.14 2	0.98 8



الشكل (٨): العلاقة بين عمق النحر و الميل لـ (dm = ٠.٧٩ سم)



الشكل (٩): العلاقة بين عمق النحر و الميل لـ (dm = ١.١١ سم)



الشكل (١٠): العلاقة بين عمق النحر والميل لـ (dm = 0.91 سم)

٢.٢.٥ العلاقة بين طول حفرة النحر وميل سفح المؤخر (S) :

يُزيد الميل (S)، ولغرض إيجاد العلاقة بينهما فقد تم تحليل البيانات المختبرية ووُجدَ بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات وكما يأتي:

$$L_s = a \times S + b_4 \quad ()$$

قيم المعاملات (a_4) بثبوت قيم قطر النحر (b_4) مع معامل الارتباط للمعادلة () ولغرض توضيح تأثير (S) النحر فقد تم رسم العلاقة بينهما، للتصارييف

()، حيث تراوح معامل الارتباط (R)

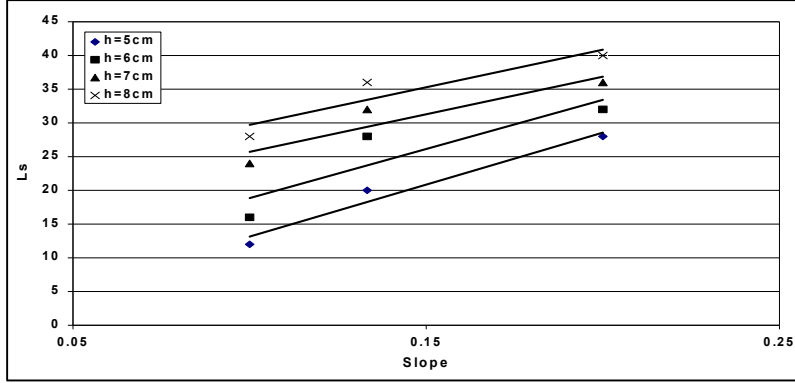
بين () () .

زيادة الميل (S)، ويعزى السبب في ذلك الى انه كلما زاد الميل قل مسار الماء فوق المنشأ مؤدياً الى قلة تبديد الطاقة وزيادة قوة ارتطامه بالحصى نهاية جسم المنشأ مؤدياً الى زيادة طول حفرة

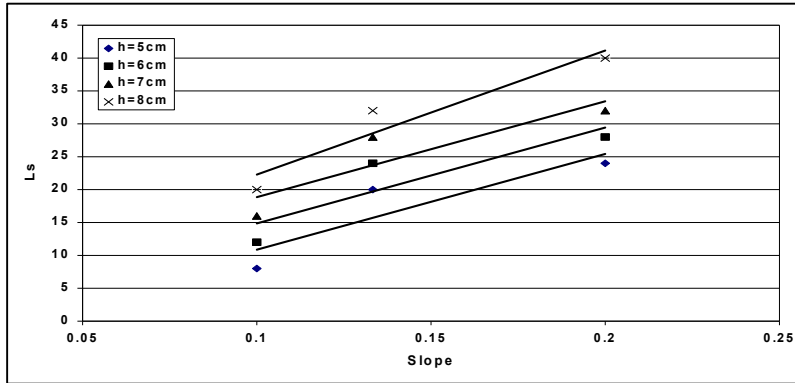
الجدول (٥): قيم المعاملات a_4 و b_4 ومعامل الارتباط للمعادلة (١٢)

الحالة	النموذج A (dm = 0.7937 سم)			النموذج B (dm = 1.1112 سم)			النموذج C (dm = 1.5875 سم)		
	a_4	b_4	R	a_4	b_4	R	a_4	b_4	R
5	154.26	2.281	0.982	145.68	3.707	0.891	145.68	7.707	0.891
6	145.68	4.2928	0.891	145.68	0.2928	0.891	145.68	3.707	0.891

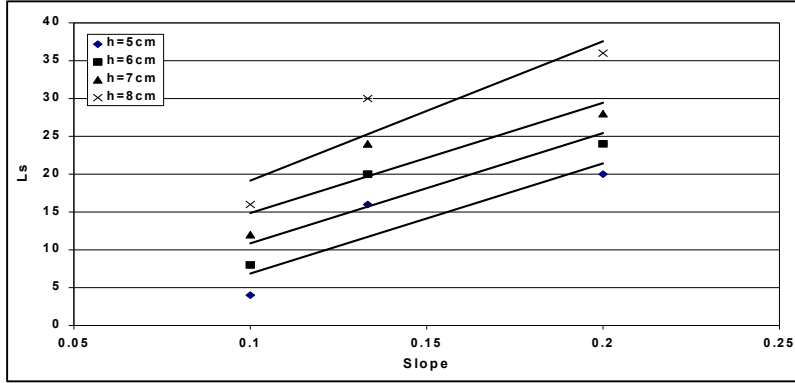
7	111. 4	14.5 76	٠.٩٢ ٨	145. 68	4.29 28	٠.٨٩ ١	145. 68	0.29 28	0.89 1
8	111. 4	18.5 76	٠.٩٢ ٨	188. 54	3.43 58	٠.٩٥ ٤	184. 24	0.72 26	0.91 4



الشكل (١١): العلاقة بين طول حفرة النحر والميل لـ (dm = ٠.٧٩ سم)



الشكل (١٢): العلاقة بين طول حفرة النحر والميل لـ (dm = ١.١١١ سم)



الشكل (١٣): العلاقة بين طول حفرة النحر والميل لـ (dm = ٠.٥٩ سم)

٦. تأثير المتغيرات البعدية على خصائص حفرة النحر

لمعرفة تأثير المتغيرات البعدية على خصائص حفرة النحر ونسبة الزيادة في هذه المتغيرات مع الزيادة والنقصان في عمق وطول حفرة النحر. من برنامج التجارب المختبرية اتضح بأن المتغيرات الرئيسية المؤثرة على حفرة النحر كانت التصريف لوحدة عرض (q) (h) وميل سفح المؤخر (S) (dm).

حيث انه بزيادة التصريف يزداد عمق وطول حفرة النحر والجدولان () () يوضحان النسبة المئوية للزيادة في عمق وطول حفرة النحر على التوالي مع الزيادة في التصريف . كما لوحظ انه بزيادة سوف يقل عمق

() () يوضحان النسبة المئوية للزيادة في مع النسبة المئوية للنقصان . كما يلاحظ أنه بزيادة الميل (S) لنفس التصريف ولنفس معدل قطر مواد القاع تراد قيم عمق وطول حفرة النحر والجدولان () () على التوالي يبينان النسبة المئوية لزيادة عمق وطول حفرة النحر مع زيادة ميل سفح المؤخر. () يبين حفرة النحر ثلاثية الأبعاد للتجربة () (q) = // // dm = S (1V:5H).

جدول (٦): نسبة الزيادة في التصريف مع نسبة الزيادة في عمق النحر

نسب الزيادة في	نسبة الزيادة	نسبة الزيادة في عمق النحر (Ds) %
----------------	--------------	----------------------------------

ارتفاع الماء فوق القمة %h	في التصريف %	(اقل نسبة - أعلى نسبة) للزيادة	معدل نسبة الزيادة
٢٠	٣٨.٥	% (٥٠-٧)	% ٢٠.٥
٤٠	81.0	% (٧١.٥-٢٥)	% ٤٦.٤
٦٠	130	% (١٣٥.٧-٣٠)	% ٧٥.٠

جدول (٧): نسبة الزيادة في التصريف مع نسبة الزيادة في طول حفرة النحر

ارتفاع الماء فوق القمة %h	نسبة الزيادة في التصريف %	نسبة الزيادة في عمق النحر (Ds) %	
		(اقل نسبة - أعلى نسبة) للزيادة	معدل نسبة الزيادة
٢٠	٣٨.٥	% (١٠٠-١٤)	% ٣٣
٤٠	81.0	% (٢٠٠-٢٩)	% ٧٠
٦٠	130	% (٣٠٠-٤٣)	% ١١٠

جدول (٨): نسبة الزيادة في معدل قطر مواد القاع مع نسبة النقصان في عمق النحر

نسبة الزيادة في قطر مواد القاع %	نسبة النقصان في عمق النحر %	
	(اقل نسبة - أعلى نسبة) للنقصان	معدل نسبة النقصان
% ٤٠	% (٣٦-٧)	% ١٩.٣
% ١٠٠	% (٦٦-١٢)	% ٤١

جدول (٩): نسبة الزيادة في معدل قطر مواد القاع مع نسبة النقصان في طول حفرة النحر

نسبة الزيادة في قطر مواد القاع %	نسبة النقصان في طول حفرة النحر %	
	(اقل نسبة - أعلى نسبة) للنقصان	معدل نسبة النقصان
% ٤٠	% (٣٣.٣٣-١٠)	% ١٧.٦
% ١٠٠	% (٦٦.٦٦-١٠)	% ٣٢.٧٧

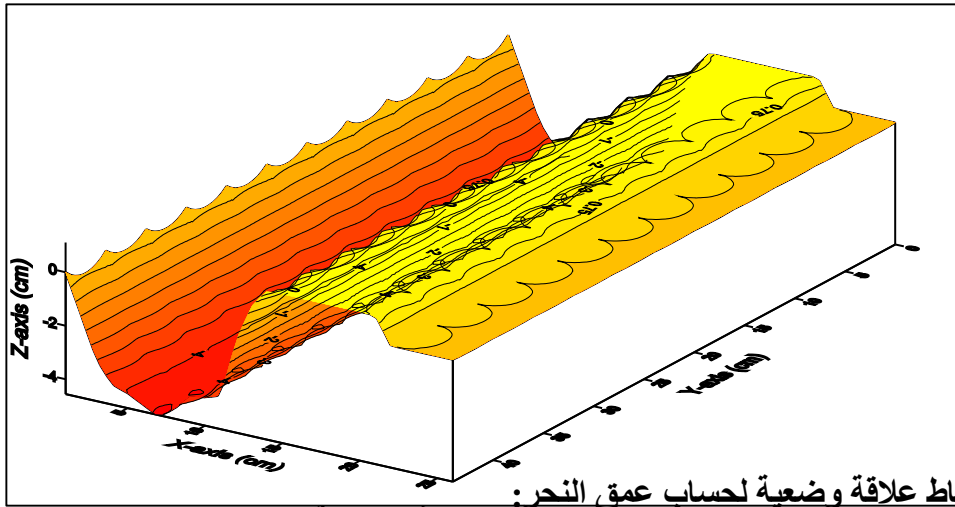
جدول (١٠): نسبة الزيادة في الميل مع نسبة الزيادة في عمق النحر

نسبة الزيادة في الميل %	نسبة الزيادة في عمق النحر %	
	(اقل نسبة - أعلى نسبة) للزيادة	معدل نسبة الزيادة
% ٣٣.٣٣	% (١٢٥-١٢.٥)	% ٥٧
% ١٠٠	% (٢٥٠-٣٠)	% ١١٣

جدول (١١): نسبة الزيادة في الميل مع نسبة الزيادة في طول حفرة النحر

نسبة الزيادة في الميل %	نسبة النقصان في طول حفرة النحر %	
	(اقل نسبة - أعلى نسبة) للزيادة	معدل نسبة الزيادة
% ٣٣.٣٣	% (٣٠٠-٢٩)	% ١٠.٨

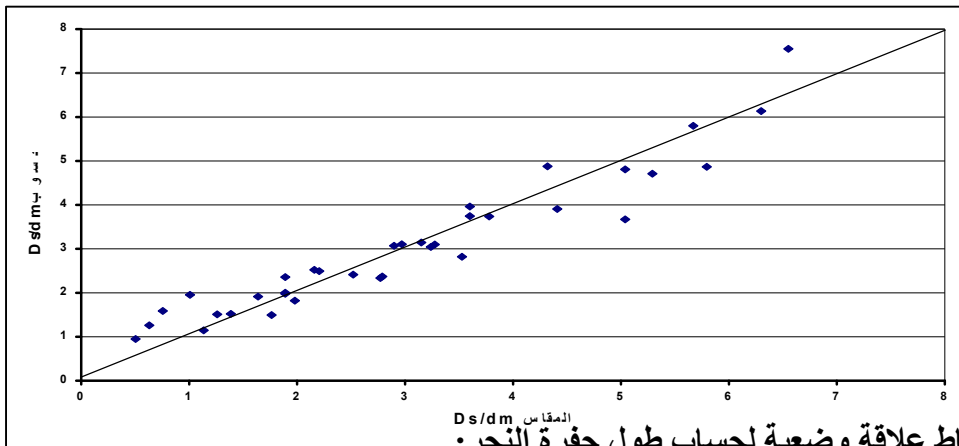
%١٤١	%(٤٠٠-٤٣)	%١٠٠
------	-----------	------



٧. استنباط علاقة وضعية لحساب عمق النحر: الشكل (١٤) ثلاثي الأبعاد للنحور الحاصل في التجربة (٢٨) ($q = ٤٦$ لتر/ثا/م، SPSS) لقد تم إدخال جميع النتائج المتعلقة بعمق النحر في البرنامج الإحصائي (SPSS) للحصول على علاقة وضعية لحساب عمق النحر النسبي (D_s/d_m) بدلالة المتغيرات اللابعدية (Fro) (S) وكانت العلاقة بين هذه المتغيرات كالآتي:

$$\frac{D_s}{d_m} = 1.9407 \times (Fro)^{0.8658} \times (S)^{0.6515} \dots\dots\dots(13)$$

(R) يساوي (0.9537). تم حساب قيد (D_s/d_m) ورسمت مع القيم المقاسة مختبرياً وكما موضح في الشكل () الذي يبين مدى الترابط بين القيم المحسوبة والمقاسة وكذلك يوضح الشكل خط التوافق الأمثل بين النتائج.



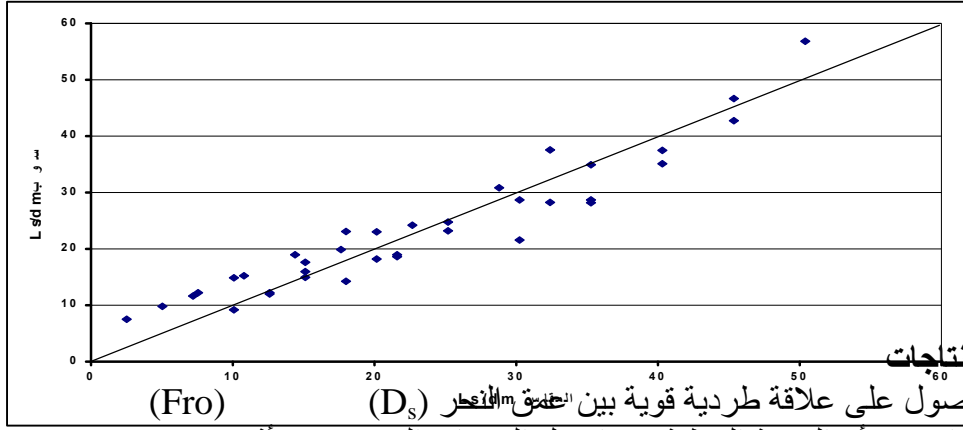
٨. استنباط علاقة وضعية لحساب طول حفرة النحر: الشكل (١٥) مقارنة عمق النحر النسبي المحسوب من المعادلة (١٣) مع المقاس مختبرياً SPSS تم إدخال جميع البيانات المتعلقة بطول حفرة النحر في البرنامج الإحصائي (SPSS) وتم التوصل الى المعادلة الوضعية التالية لحساب قيم (L_s/d_m) بدلالة المتغيرات (Fro) (S) وكما يلي:

$$\frac{L_s}{d_m} = 17.9647 \times (Fro)^{0.8207} \times (S)^{0.7023} \dots\dots\dots(14)$$

(R) يساوي (.) .

تم حساب قيم (Ls/dm) () ورسمت مع القيم المقاسة مختبرياً وكما () الذي يبين مدى الترابط بين القيم المقاسة والمحسوبة وكذلك الشكل يبين خط التوافق الأمثل بين النتائج.

علماً بأن المعادلات () () تم استنباطها للمديات $6.55 \geq D_s/dm \geq 0.50$ $0.20 \geq S \geq 0.10$ $16.12 \geq Fr_o \geq 2.48$ $50.40 \geq L_s/dm \geq 2.52$



9. الاستنتاجات
تم الحصول على علاقة طردية قوية بين عمق النحر (D_s) () و L_s/dm ()، واتضح بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تصف تأثير Fr_o مع المقاس مختبرياً وتراوح معامل الارتباط ما بين (.) (.) .
اتضح بأن هناك علاقة طردية قوية بين طول حفرة النحر (L_s) () كما في ()، واتضح بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تصف تأثير (Fro) طول حفرة النحر وكان معامل الارتباط ما بين (.) (.) .
تمت دراسة العلاقة بين عمق النحر وميل سفح المؤخر (S) وتمت ملاحظة علاقة طردية بينهما كما في المعادلة ()، ولوحظ بأن العلاقة الخطية هي الأفضل بمعامل ارتباط بين (.) (.) .
تمت دراسة العلاقة بين طول حفرة النحر وميل سفح المؤخر (S) وتم الحصول على علاقة طردية بينهما كما في المعادلة ()، وكانت العلاقة الخطية هي الأفضل بمعامل ارتباط يتغير بين (.) (0.999) .
تم الحصول على معادلة وضعية لحساب عمق النحر النسبي (D_s/dm) ميل سفح (S) وبمعامل ارتباط يساوي (.) (13) .
تم الحصول على معادلة وضعية عامة لحساب طول حفرة النحر النسبي (L_s/dm) ميل سفح المؤخر (S) ورقم فرود (Fro) وبمعامل ارتباط يساوي (.) وكما في المعادلة (.) .

10. المصادر

- الحافظ، ابراهيم عادل ابراهيم ، () "دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلثية"، رسالة ماجستير، قسم هندسة الموارد المائية، كلية الهندسة جامعة الموصل، حزيران.
- حياوي، غنية عبدالمجيد، () "دراسة مختبرية لحماية سفح المؤخر للهدارات الركامية باستخدام السلال الصخرية" لموارد المائية، كلية الهندسة،
- نوري، بهزاد محمد علي و الحافظ، ابراهيم عادل ابراهيم، () "دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر السدود الغاطسة المثلثية من المنظور الافقي"، مقبول للنشر في مجلة هندسة الرافدين، كلية الهندسة

4. Bisaz, E., and Tschopp, J. (1972), "Profundidad de Erosion al Pie de un Vertedero Para la Aplicacion de Correccion de Arroyos en Quebradas Empinadas", Proceedings of the 5th Congreso Latinoamericano de Hidraulica (IAHR), Lima, Peru, 23-28 October, (in Spanish). PP. 447-456.
5. Chow, V.T. (1959), "Open Channel Hydraulics", Mac Graw – Hill International Company, International Student Edition.
6. Laursen, E.M. Flick, M.W. and Ehlers, B.E., (1986) "Local scour at Drop Structures", Proceeding of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, March, 24-27, Vol.I. pp.4.60-4.69.
7. Pe, J.A., Achinte, J.R., and Jegat, H.J. (1980), "Estudio Experimental de Caida de Seccion Trapecial", Proceeding of the 9th Congress Latinoamericano de Hidraulica, Vol. 1, Merida, Venezuela, June 30-July 4, (in Spanish). PP. 447-456.
8. Smith, C.D. and Murray, D.G. (1975), "Cobble Lined Drop Structures", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 2, No.4, December, pp.437-446.
9. US.B.R. (1995), "Stream Stability at Highway Structures" Hydraulic Engineering Circular No.20, Federal Highway Administration.
10. Whittaker, J., and Schleiss, A. (1984), "Scour Related to Energy Dissipaters for High Head Structures", Mitteilungen der Versuchsanstalt fur Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, No. 73, an der Eidgenossischen Technischen Hochschule Zurich.
11. Whittaker, J. Jaggi,M. (1986), "Blockschwellen" Mitteilungen der Versuchsanstatt fur Wasserbau Hydrologic and Glasiologie, Nr.91, an der Eidgenossischen Technischen Hochschule Zurich, (in German).