

دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر السدود الغاطسة المثلثية من المنظور الأفقي

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 الحجرية مؤخر السدود الغاطسة المثلثية من المنظور الأفقي، حيث تضمنت الدراسة حساب أقصى عمق نحر و أقصى طول لحفرة النحر، ودراسة شكل النحر الحاصل مؤخر السد الغاطس. وقد تم إجراء (١٠٨) تجربة في قناة مختبرية حيث تم استخدام ثلاثة أحجام من الحجر المكسر بمعدل أقطار (٠.٧١٤٢، ١.١١١، ١.٥٨٧٥) سم، واستخدمت أربعة ارتفاعات للسد غاطس (٢٥، ٢٠، ١٥، ١٠) سم، لكل الأحجام من الحجر المكسر، كما تم دراسة تأثير الماء الذيلي على عمق النحر لارتفاعات السد الغاطس عدا الارتفاع الأول لصغره وحصول غمر فيه حيث كان عدد تجارب الماء الذيلي (٣٦) تجربة. بينت نتائج تجارب الدراسة الحالية بأن هناك علاقة طردية قوية بين عمق النحر وطول حفرة النحر مع نسبة عمق الماء الذيلي الى ارتفاع السد الغاطس والسقوط النسبي. وتم الحصول على معادلتين وضعيتين، الأولى- لحساب عمق النحر النسبي والثانية
الحجرية مؤخر السدود الغاطسة المثلثية من المنظور الأفقي اعتمادا على المعطيات الحقلية واختيار حجم الحجر المتوفر قرب الموقع.

Laboratory Study Of Scour In Stone Beds Downstream Triangular Plan Form 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, the phenomenon of scour downstream triangular plan form weirs on stone beds were studied experimentally. The study deals with the measurement of maximum scour depth and the length of scour hole downstream the weir. The shape of scour hole was also studied. One hundred and eight runs were conducted

in a laboratory channel. Three sizes of crushed stones of diameters (0.7142, 1.111, 1.5875)cm were used. Four weir-heights (10,15,20,25)cm were tested for all sizes of crushed stones. The effect of tailwater depth on scour depth was studied for all weir-heights except 10 cm because submergence appeared, while, total number of tailwater depths tested were thirty six. Experimental results of this study showed direct relation between scour depth and scour hole length with the densimetric particle Froude number, but the scour depth and scour hole length had inverse relations with both relative tailwater depth and relative drop. Two empirical equations were obtained; the first for the estimation of relative scour depth and the second for the estimation of relative length of scour hole. A simple design method was presented to obtain the length and thickness of rock protection downstream triangular plan form weirs depending on field data and size of available rocks.

Key words: scour , stone beds , triangular weirs.

١. مقدمة

أستلم في 2005/10/17

قبل في 2006/6/7

تعد السدود الغاطسة من المنشآت الهيدروليكية المهمة المقامة على الأنهر، حيث تقام للسيطرة على كمية المياه التي تجري من فوقها وإن الحاجة المتزايدة لخرن الماء تستوجب تكثيف الجهود في مجال الهندسة الهيدروليكية لتطوير طرق جديدة ومختلفة في تصميم وإنشاء السدود

يعد الجانب الاقتصادي من الجوانب المهمة التي تؤخذ بنظر الاعتبار في تشييد المنشآت المدنية والهيدروليكية. حيث يجب الأخذ بنظر الاعتبار ما متوفر في المنطقة التي سيقام عليها المنشأ الهيدروليكي من مواد أولية تخدم تشييد المنشأ المقام عليها. يعرف النحر الناتج من السقوط الحر بأنه ناتج من سقوط الماء من منطقة ذات منسوب مرتفع إلى منطقة ذات منسوب منخفض مؤدياً إلى درجة الجزئيات الموجودة مؤخر المسقط ومحركاً إياها إلى نقطة ابعدها من موقع المسقط مما يؤدي إلى تكوين حفرة مؤخر المنشأ مؤثراً بدوره على استقرارية السد الغاطس ومسبباً ضعف المنطقة المحفورة، وقد يؤدي هذا مستقبلاً إلى انهيار المنشأ وفشله.

٢. الدراسات السابقة

اقترح الباحث سكوكليتش (Schoklitsch,1935) (Whittaker and Schleiss 1984) الذي يعد واحداً من أوائل الذين درسوا النحر مؤخر المساقط العمودية للمنشآت الهيدروليكية حيث استنتج المعادلة التالية لحساب عمق النحر:

$$D_s = 4.75 H^{0.2} q^{0.57} / d_{90}^{0.32}$$

()

:

$$= D_s$$

H = الفرق بين منسوب سطح

q = التصريف لوحدة عرض.

d_{90} = حجم فتحة المنخل الذي يمرر %
 كما توصل الباحث فيرونيز (Veronese, 1937) (Whittaker and Schleiss 1984) إلى معادلة لحساب عمق النحر مؤخر السدود الغاطسة العمودية مشابهة لحد ما لما توصل اليه سكوكليتش (Schoklitsch, 1935) وهي :

$$D_s = 3.68 H^{0.225} q^{0.54} / d_m^{0.32}$$

()

:
 = d_m

أما الباحث جيكر (Jaeger, 1939) والباحث ايكنبيركر (Eggenberger, 1943) عمق النحر الناتج من جريان الماء فوق وتحت بوابة الكسح وتوصلا الى العلاقة التالية لحساب

:
 صيغة جيكر هي :

$$dt = D_s + T_w = 6 \times \Delta h^{0.25} \times q^{0.5} \times (T_w / d_{90})^{\frac{1}{3}}$$

.....(3)

: وصيغة ايكنبيركر هي :

$$dt = D_s + T_w = C \times \Delta h^{0.5} \times q^{0.6} / d_{90}^{0.4}$$

.....(4)

:
 dt = المسافة العمودية بين سطح الماء مؤخر

= D_s

T_w = ارتفاع الماء الذيلي.

= Δh

C = ثابت ويتم حسابه من المعادلة التالية :

$$C = 22.8 - 1 / \left[0.049 \times (q_u / q_d)^3 - 0.0063 (q_u / q_d)^2 - 0.029 (q_u / q_d) + 0.064 \right] \dots (5)$$

حيث أن q_u التصريف المار فوق البوابة لوحدة العرض و q_d التصريف المار تحت البوابة

و درس الباحث كوتولاس (Kotoulas, 1967) (Whittaker and Schleiss 1984) النحر مؤخر السدود الغاطسة العمودية للمنشآت الهيدروليكية متوصلا الى العلاقة التالية

$$D_s = 0.78 H^{0.35} q^{0.7} / d_{90}^{0.4}$$

()

وتوصل الباحثان بيبساز و تسكوب (Bisaz and Tschopp, 1972) الى معادلة لحساب عمق النحر مؤخر المساقط العمودية:

$$D_s = 2.7 h^{0.25} q^{0.5} - 7.22 d_{90}$$

.....(7)

كما درس الباحث بي وآخرون (Pe, et al., 1980) النحر الحاصل مؤخر السدود الغاطسة العمودية وتوصلوا الى العلاقة التالية لحساب عمق النحر :

$$D_s = 0.864 T^{0.29} (Q/T)^{0.42} H^{0.3} / d_m^{0.21} \quad \dots\dots\dots(8)$$

T = عرض سطح الماء لسد غاطس شبه منحرف و Q = التصريف الكلي.

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

$$D_s = k H^{0.225} q^{0.54} - T_w \quad \dots\dots\dots(9)$$

حيث أن k = معامل ويساوي . .

٣. التحليل البعدي

إن ظاهرة النحر الحاصل مؤخر السد الغاطس تعتمد على المتغيرات الآتية:
التصريف المار فوق السد الغاطس لوحدة عرض (q)، معدل قطر مواد القاع (dm)
الماء الذيلي (T_w) ، الفرق بين منسوب مستوى سطح الماء قبل السد (P)،
الغاطس وبعده (H)، التعجيل الارضي (g) كثافة الماء (w) ، كثافة مواد القاع (s) واللزوجة التحريكية للماء (μ).
ويمكن صياغة العلاقة الخاصة بعمق النحر بالشكل الآتي :

$$D_s = f (q , dm , T_w , P, H, g , s , w , \mu) \quad \dots\dots\dots(10)$$

وباستخدام طريقة التحليل البعدي يمكن صياغة العلاقة () على النحو التالي () :

$$D_s/d_m = f (T_w/P , H/P , Fr_o , Re) \quad \dots\dots\dots(11)$$

كما يمكن صياغة علاقة لا بعدية لطول حفرة النحر بالشكل التالي :

$$L_s/d_m = f (T_w/P , H/P , Fr_o , Re) \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\begin{aligned} & : \\ & = D_s/d_m \\ & = L_s/d_m \end{aligned}$$

= T_w/P يمثل النسبة بين ارتفاع الماء الذيلي وارتفاع السد الغاطس.
= H/P يمثل النسبة بين فرق منسوب الماء قبل وبعد السد الغاطس وارتفاع السد الغاطس () .

$$\begin{aligned} & = Fr_o \\ & = Re = رقم رينولدز للجريان ويساوي (q / μ) . \end{aligned}$$

$$\Delta\rho_s = \text{الفرق بين كثافة مواد القاع وكثافة الماء } (\rho_s - \rho_w).$$

٤. العمل المختبري

تم صنع نموذج من صفائح حديدية سمكها (10 ملم) وتميل بزواوية (30) الجدار، كما أن نوع السد الغاطس المستخدم كان حاد الحافة (Sharp Crested Weir) المواصفات البريطانية (British Standard Institution, 1985). أما القناة المستخدمة في التجارب فهي مشيدة من الخرسانة بطول (24.64) (0.81) (0.76) و مثبت على جداري القناة مقاطع من الألمنيوم على شكل زاوية وبشكل أفقي استخدمت لتثبيت مقياس العمق (Point Gauge) عليها. ويصل الماء الى الحوض بواسطة أنبوب مثبت عليه صمام للسيطرة على التصريف، ويأخذ الأنبوب الماء من خزان ارضي بواسطة مضخة تصريفها التصميمي (100 /). تم رفع منسوب أرضية القناة بمقدار (30) (10) حيث بداية زاوية السد الغاطس بعدها تركت (7) لفرشها بالحجر المكسر، بعدها تم تثبيت مبزل تم تثبيته مقياس للعمق (Point Gauge) على عربة تتحرك على طول الـ لأخذ قياسات شكل النحر الحاصل في الحجر المكسر. يتصل بنهاية القناة حوض التصريف، ثبت فيه سد غاطس حديدي بمقطع (17 × 49.6) (0.6) لقياس تصريف الماء في القناة، وفي الجهة اليسرى للحوض وعلى بعد (1.75) من السد الغاطس يوجد بئر من الخرسانة إحدى جهاته زجاجية لقياس منسوب سطح الماء فوق السد الغاطس بواسطة مقياس، والشكل () يوضح مسقطاً رأسياً ومقطعاً طولياً للنموذج والقناة المستخدمة. تم استخدام ثلاثة نماذج من الحجر المكسر، الحجم الاول المار من منخل . ملم والمرتد على منخل . ملم، والثالث المار من منخل . ملم، أما الكثافة الكتالية للنماذج المستخدمة فكانت

تتلخص خطوات إجراء التجارب المختبرية بما يلي: يثبت السد الغاطس أولاً بالارتفاع المطلوب، ثم يفرش الحد (30) وبشكل مستوي حيث يتم التأكد من استوائه بواسطة وزان البناء ذو الفقاعة الهوائية، ويتم تصفير مقياس العمق على سطح الحجر المكسر واعتباره المستوي المعتمد كنقطة قياس أي نقطة الصفر، ويتم تثبيت مقدار فتحة بوابة التحكم لإمرار عمق الماء المطلوب فوق السد الغاطس، تشغل مضخة التجهيز ويفتح صمام السيطرة ببطيء لغاية الحصول على التصريف المطلوب. بعدها يتم مراقبة الجريان في القناة لحين الحصول على استقرار لسطح الماء، بعد مرور عدة ساعات من التشغيل وبعد التأكد من توقف النحر تماماً يتم إيقاف المضخة والانتظار لحين بزل الماء. يتم قياس مناسيب القاع لأكثر من أربعمئة نقطة مؤخر السد الغاطس طولياً وعرضياً بعد كل تجربة وعلى مسافة () طولياً و () سم عرضياً بين نقطة وأخرى لتحديد شكل القاع وأعماق النحر الحاصل، وبعد انتهاء القياس يسوى سطح الحجر المكسر ثانية ويصفر، وتكرر الخطوات السابقة لستة تصاريح . تفاصيل برنامج التجارب المختبرية موضحة في الجدول (). بعد الانتهاء من كافة التصاريح نستبدل مواد القاع بالحجم الثاني ومن ثم الثالث. وبعد الانتهاء من الأحجام الثلاثة يتم رفع السد الغاطس وتعاد التجارب وهكذا . أما تجارب الماء الذيلي فقد تم اختيار ارتفاع واحد للماء فوق السد الغاطس وهو (5) ، حيث أجريت تجارب الماء الذيلي بنفس الخطوات السابقة ولكن برفع منسوب الماء الذيلي.

٥. تحليل النتائج

٥.١ العلاقة بين خصائص حفرة النحر و المتغيرات اللابعديّة

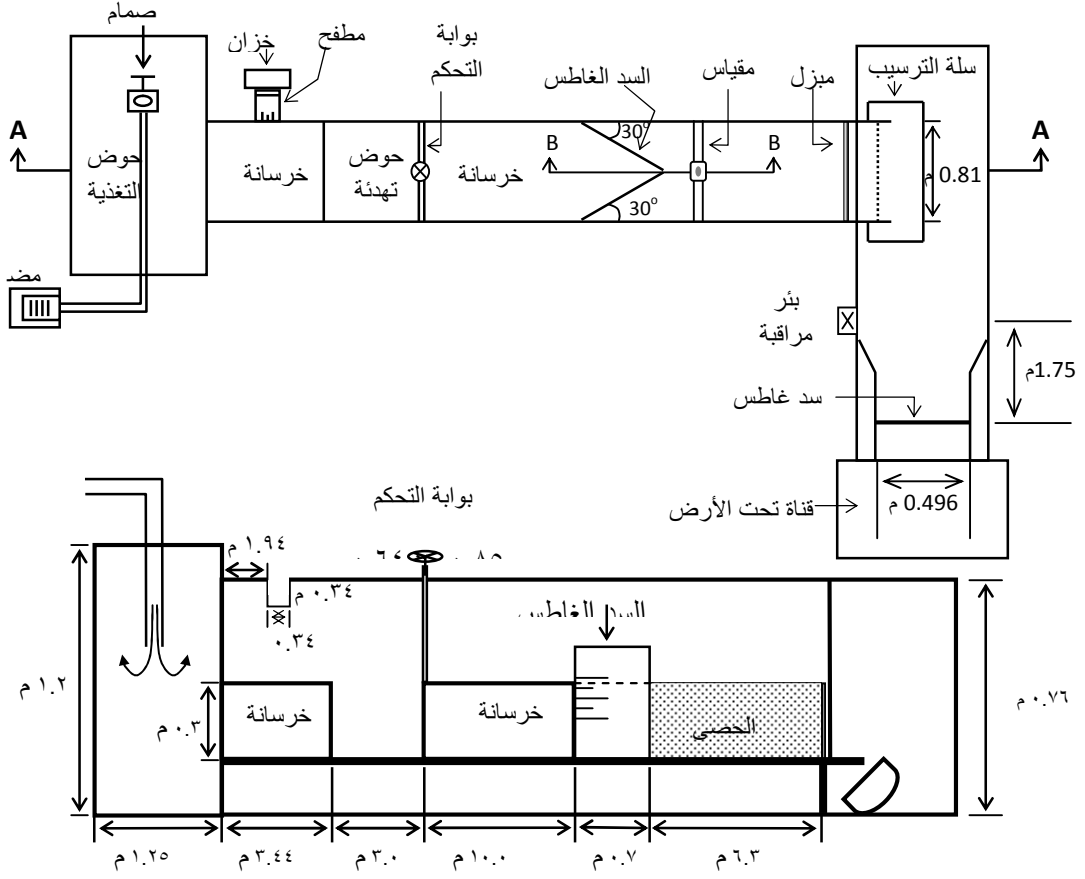
١.١.٥ العلاقة بين عمق النحر ورقم فرود بدلالة كثافة مواد القاع

نظراً لأهمية معرفة تأثير تغير Fro على عمق النحر فقد تم تحليل البيانات المخبرية، ووُجد بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بين عمق النحر و Fro وكما يأتي:

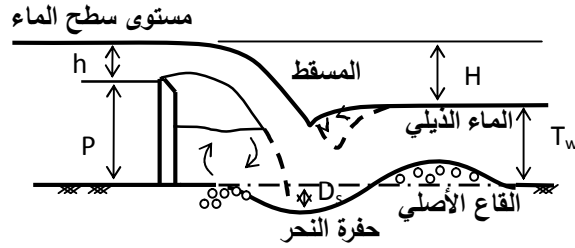
$$D_s = a_1 + b_1 \times Fro$$

.....(13)

استخدمت القياسات المخبرية التي تم الحصول عليها من التجارب لإيجاد قيم كل من (a_1) (b_1) بثبوت قيم قطر الحجر المكسر المستخدم وارتفاع السد الغاطس. تم حساب قيم هذه المعاملات ولجميع النماذج كما في الجدول (2) مع معامل الارتباط للمعادلات. توضيح تأثير Fro على عمق النحر تم رسم العلاقة بينهما،

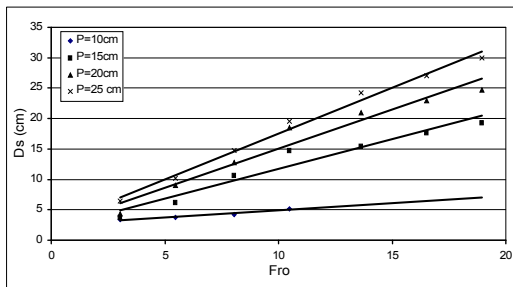


المقطع (A-A)، الرسم بدون مقياس

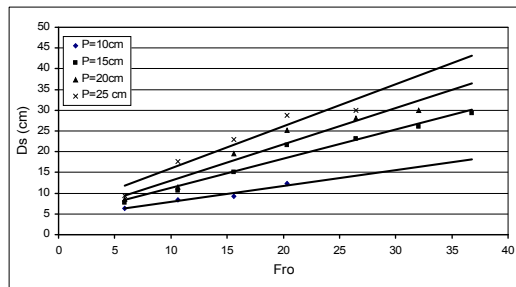


المقطع (B-B)، مخطط توضيحي للسد الغاطس اثناء التشغيل

شكل (١) القناة المختبرية المستخدمة



الشكل (٣): العلاقة بين عمق النحر و Fro لـ (dm = 1.11 سم)



الشكل (٢): العلاقة بين عمق النحر و Fro لـ (dm = 0.7142 سم)

() : برنامج التجارب المختبرية

يف لكل (/ /)	الذيلي ()	()	()	()	
. - .	. - .	-		.	-
. - .	. - .	-		.	-
. - .	. - .	-		.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-
. - .	. - .	-		.	-
49.54	. - .			.	-

() : قيم المعاملات b_1 a_1

—	A (. =d _m)			= d _m) B (1.111			d _m) C (1.5875=		
	a ₁	b ₁	R	a ₁	b ₁	R	a ₁	b ₁	R
10	4.07 0	0.38 1	0.97 57	2.57 8	0.23 2	0.96 85	0.41 5	0.59 6	0.99 20

15	4.18 9	0.70 3	0.98 49	1.91 5	0.97 8	0.97 26	0.50 3	1.35 2	0.97 67
20	4.15 2	0.88 0	0.97 11	2.22 1	1.28 4	0.97 57	0.30 3	2.05 0	0.98 54
25	5.76 5	1.01 4	0.96 23	2.46 2	1.50 7	0.99 45	3.30 3	2.05 6	0.99 05

(14) () : قيم المعاملات a_2 b_2

P (cm)	A (\cdot = d_m)			= d_m) B (1.111			d_m) C (1.5875=		
	a_2	b_2	R	a_2	b_2	R	a_2	b_2	R
10	9.48 8	2.47 8	0.98 84	12.3 3	3.27 9	0.97 06	10.4 4	5.19 2	0.97 88
15	6.52 6	3.53 6	0.94 97	18.3 8	3.80 0	0.98 34	14.8 8	5.96 4	0.99 20
20	17.3 2	2.95 7	0.99 65	19.4 9	4.06 5	0.98 69	15.9 7	6.51	0.99 40
25	24.0 9	2.68 0	0.99 65	23.4 9	4.06 5	0.98 69	20.6 3	6.49 7	0.98 89

الأشكال () حيث تراوح معامل (R) ما بين (.) (.) . يلاحظ انه بزيادة قيمة Fro يزداد عمق النحر وذلك بسبب زيادة التصريف (q) (زيادة السرعة العمودية للماء الساقط) الذي يرتبط ارتباطاً مباشراً بارتفاع الماء فوق السد الغاطس (h).

٢.١.٥ العلاقة بين طول حفرة النحر ورقم فرود بدلالة كثافة مواد القاع نظراً لأهمية دراسة طول حفرة النحر وعلاقتها مع Fro فقد تم تحليل البيانات المخبرية ووُجِدَ بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بين طول حفرة النحر و Fro وكما يأتي:

$$L_s = a_2 + b \times Fro$$

(14).....

لقد تم ايجاد قيم (a₂) (b₂) بثبوت قيم قطر الحجر المكسر المستخدم وارتفاع السد الغاطس ولكل عمق ماء ذيلي وكما موضحة في الجدول () . تم رسم العلاقة بين

(Fro) وطول حفرة النحر لارتفاعات السد الغاطس الأربع ولنماذج الحجر المكسر المستخدمة

() ، حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.)

(.) حيث يلاحظ أن طول حفرة النحر يزداد طردياً مع زيادة قيم Fro.

٢.٥ تأثير تغير نسبة عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد الغاطس (Tw/P) على خصائص

حفرة النحر

١.٢.٥ العلاقة بين عمق النحر ونسبة عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد الغاطس

من خلال القياسات المخبرية يلاحظ أن عمق النحر يقل مع زيادة قيم (Tw/P)

ايجاد العلاقة بينهما فقد تم تحليل البيانات المخبرية بين عمق النحر ونسبة عمق الماء الذيلي

بأن العلاقة الخطية هي افضل العلاقات وكما يأتي:

$$D_s = a_3 + b_3 \times Tw/P$$

().....

استخدمت القياسات المخبرية لايجاد قيم كل من (a₃) (b₃) بثبوت قيم قطر الحجر

المكسر المستخدم وارتفاع السد الغاطس وثبوت قيمة التصريف، تم حساب قيم هذه المعاملات

ولجميع النماذج كما في الجدول () . ولغرض توضيح تأثير هذه

النسبة على عمق النحر فقد تم رسم العلاقة بينها وبين عمق النحر، لثلاث ارتفاعات للسد الغاطس

ولنفس التصريف كما ()

() ، حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.) (.)

ويلاحظ أن عمق النحر يتناسب عكسياً مع زيادة نسبة عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد

الغاطس، وذلك لأن زيادة ارتفاع الماء الذيلي يؤدي الى زيادة تبديد الطاقة للماء

السد الغاطس نتيجة لارتطامه بالماء الذيلي قبل الوصول الى الحماية الحجرية مما يقلل عمق

٢.٢.٥ العلاقة بين طول حفرة النحر ونسبة عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد الغاطس

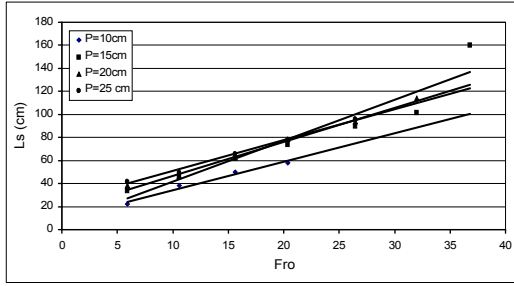
أن للنسبة اللابعدية لعمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد الغاطس (Tw/P) تأثير

طول حفرة النحر، فقد تم تحليل البيانات المخبرية ووُجِدَ بأن العلاقة الخطية هي أفضل

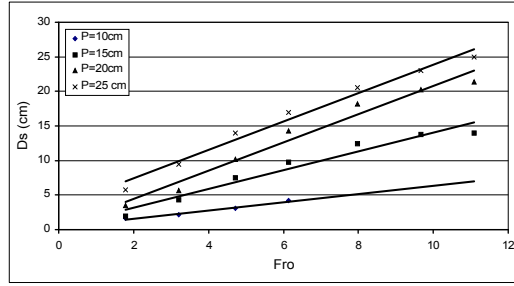
العلاقات وكما يأتي:

$$L_s = a_4 + b_4 \times T_w/P \quad ()$$

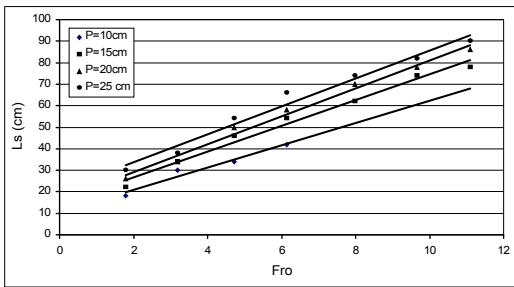
استخدمت القياسات المختبرية التي تم الحصول عليها من التجارب لإيجاد قيم (a_4) (b_4) بثبوت قيم قطر الحجر المكسر المستخدم وارتفاع السد الغاطس والتصريف وتم حساب قيم هذه المعاملات ولجميع النماذج كما في الجدول () مع معامل الارتباط للمعادلات. ولغرض توضيح تأثير هذه النسبة على طول حفرة النحر فقد تم رسم العلاقة بين طول حفرة ر والنسبة بين عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد الغاطس، لارتفاعات السد الغاطس الثاني والثالث والرابع ولنماذج الحجر المكسر الثلاثة المستخدمة في الدراسة ولنفس التصريف كما في () ، حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.) (.) حيث يلاحظ أن طول حفرة النحر تتناسب عكسياً مع زيادة نسبة عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع



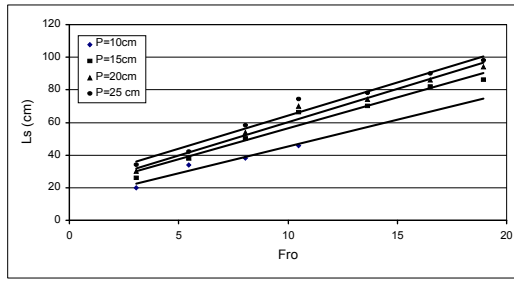
الشكل (٥): العلاقة بين طول حفرة النحر و Fr_0
 لـ ($d_m = 0.7142$ سم)



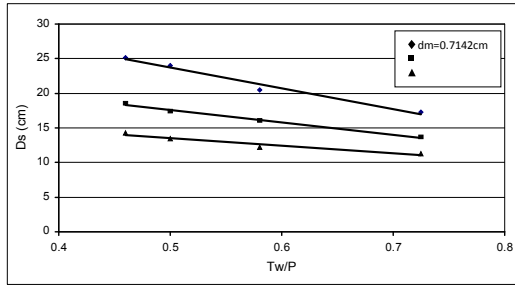
الشكل (٤): العلاقة بين عمق النحر و Fr_0
 لـ ($d_m = 1.0875$ سم)



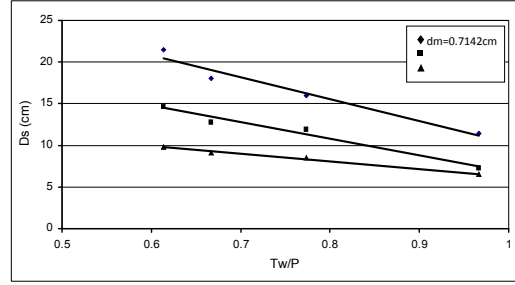
الشكل (٧): العلاقة بين طول حفرة النحر و Fr_0
 لـ ($d_m = 1.0875$ سم)



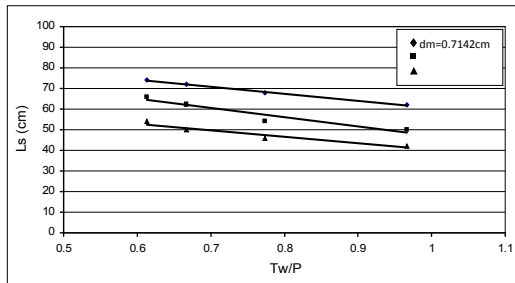
الشكل (٦): العلاقة بين طول حفرة النحر و Fr_0
 لـ ($d_m = 1.111$ سم)



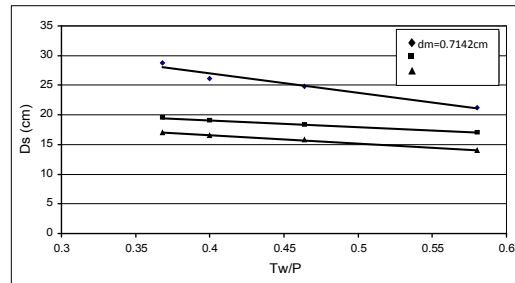
الشكل (٩): العلاقة بين عمق النحر و (Tw/P)
 لـ ($P=20$ سم، $q = 49.09$ لتر/ثام)



الشكل (٨): العلاقة بين عمق النحر و (Tw/P)
 لـ ($P=15$ سم، $q = 49.09$ لتر/ثام)



الشكل (١١): العلاقة بين طول حفرة النحر و (Tw/P)
 لـ ($P=15$ سم، $q = 49.09$ لتر/ثام)



الشكل (١٠): العلاقة بين عمق النحر و (Tw/P)
 لـ ($P=20$ سم، $q = 49.09$ لتر/ثام)

٣.٥ تأثير السقوط النسبي (H/P) على خصائص حفرة النحر

١.٣.٥ العلاقة بين عمق النحر و السقوط النسبي (H/P)

من خلال القياسات المختبرية يلاحظ أن عمق النحر يزداد مع نقصان (H/P) إيجاد العلاقة بينهما فقد تم تحليل البيانات المختبرية ووُجِدَ بأن العلاقة الخطية هي افضل العلاقات وكما يأتي:

$$D_s = a_5 + b_5 \times H/P \quad (17)$$

استخدمت القياسات المختبرية التي تم الحصول عليها من التجارب لإيجاد قيم كل من (a₅) (b₅) بثبوت قيم قطر الحجر المكسر المستخدم وارتفاع السد الغاطس وتم حساب قيم هذه المعاملات ولجميع النماذج كما في الجدول (). ولغرض توضيح تأثير (H/P) على عمق النحر فقد تم رسم العلاقة بينهما، لارتفاعات السد الغاطس الأربع ولنماذج الحجر المكسر الثلاثة المستخدمة في الدراسة كما في الأشكال () حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.) (.) حيث يلاحظ أن عمق النحر يتناسب عكسياً مع نقصان النسبة (H/P)، ويعزى السبب الى الأداء الهيدروليكي للسد الغاطس (H) يقل كلما ازداد ارتفاع الماء فوق السد الغاطس (h) بسبب زيادة ارتفاع الماء الذيلي (T_w) بقيمة اكبر من قيمة (h) وبالتالي يؤدي الى نقصان في قيمة (H).

٢.٣.٥ العلاقة بين طول حفرة النحر و السقوط النسبي (H/P) :

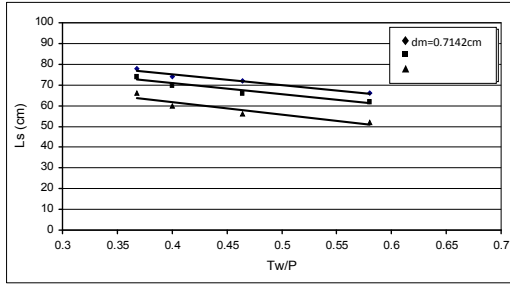
(H/P) تأثيراً مباشراً على طول حفرة النحر، لذا تم تحليل البيانات المختبرية ووُجِدَ بأن العلاقة الخطية هي أنسب العلاقات وكما يأتي :

$$L_s = a + b \times H/P \quad (18)$$

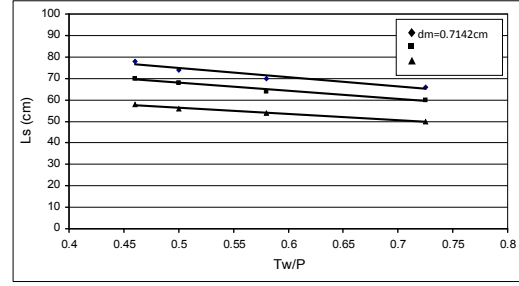
استخدمت البيانات المختبرية التي تم الحصول عليها من التجارب لإيجاد قيم كل من (a₆) (b₆) بثبوت قيم قطر الحجر المكسر المستخدم وارتفاع السد الغاطس وتم حساب قيم هذه المعاملات ولجميع النماذج كما في الجدول (). ولغرض توضيح تأثير هذه النسبة على طول حفرة النحر فقد تم رسم العلاقة بين طول حفرة النحر وهذه النسبة، لارتفاعات السد الغاطس الأربع ولنماذج الحجر المكسر الثلاثة المستخدمة في الدراسة كما في الأشكال ()، حيث تراوح معامل الارتباط (R) ما بين (.) (.) حيث يلاحظ أن طول حفرة النحر تتناسب عكسياً مع نقصان هذه النسبة.

٦. تأثير المتغيرات البعدية على خصائص حفرة النحر

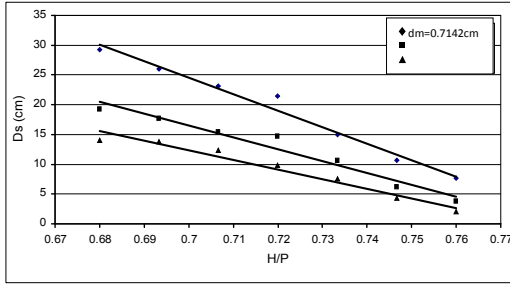
من المهم معرفة تأثيرات المتغيرات البعدية على خصائص حفرة النحر ونسبة الزيادة في هذه المتغيرات مع الزيادة والنقصان في عمق وطول حفرة النحر. حيث لوحظ من التجارب المختبرية أن المتغيرات الرئيسية المؤثرة على حفرة النحر كانت التصريف لوحدة عرض (q) ارتفاع الماء فوق السد الغاطس (h)، عمق الماء الذيلي (Tw)، ارتفاع السد الغاطس (P) ومعدل قطر مواد القاع (dm). حيث انه بزيادة التصريف يزداد عمق وطول حفرة النحر () () يوضحان النسبة المئوية للزيادة في عمق وطول حفرة النحر على التوالي مع الزيادة في التصريف. كما لوحظ انه بزيادة عمق الماء الذيلي سوف يقل عمق وطول حفرة () () يوضحان النسبة المئوية للزيادة في عمق الماء الذيلي مع النسبة المئوية للنقصان في عمق وطول حفر (P) لنفس التصريف .
ولنفس معدل قطر مواد القاع زادت قيم عمق وطول حفرة النحر والجدولان () ()
التوالي يبينان النسبة المئوية لزيادة عمق وطول حفرة النحر مع النسبة في زيادة ارتفاع السد القاع فإنه بزيادة قطر مواد القاع يقل عمق وامتداد طول () ()
يبيان النسبة المئوية للزيادة في قطر مواد القاع مع النسبة المئوية للنقصان في عمق وامتداد النحر.



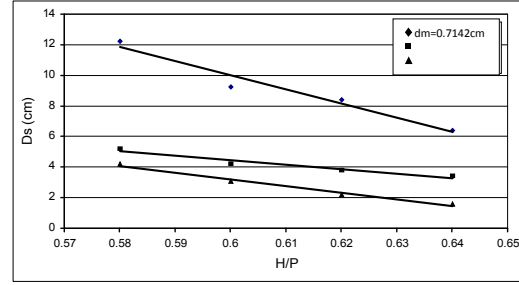
الشكل (13): العلاقة بين طول حفرة النحر و (T_w/P) لـ $(P=20\text{سم}, q=49.09\text{ لتر/ثا/م})$



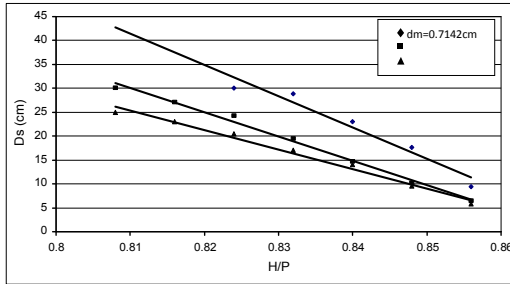
الشكل (12): العلاقة بين طول حفرة النحر و (T_w/P) لـ $(P=20\text{سم}, q=49.09\text{ لتر/ثا/م})$



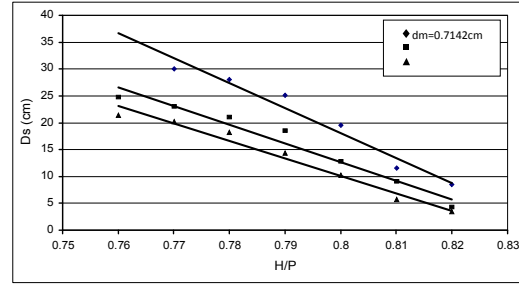
الشكل (15): العلاقة بين عمق النحر و (H/P) لـ $(P=10\text{سم})$



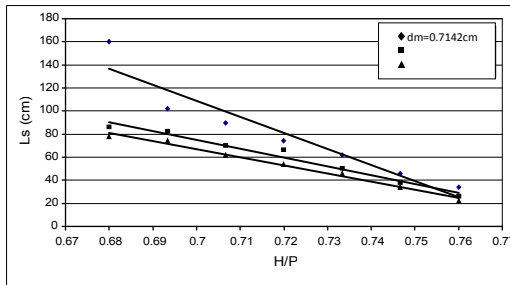
الشكل (14): العلاقة بين عمق النحر و (H/P) لـ $(P=10\text{سم})$



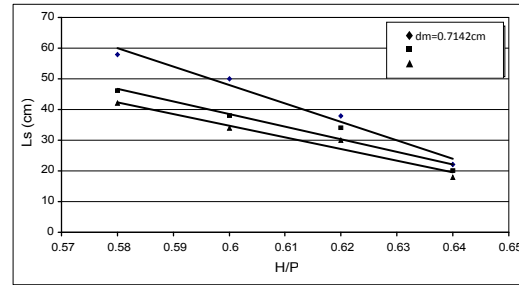
الشكل (17): العلاقة بين عمق النحر و (H/P) لـ $(P=20\text{سم})$



الشكل (16): العلاقة بين عمق النحر و (H/P) لـ $(P=20\text{سم})$



الشكل (19): العلاقة بين طول حفرة النحر و (H/P) لـ $(P=10\text{سم})$



الشكل (18): العلاقة بين طول حفرة النحر و (H/P) لـ $(P=10\text{سم})$

() : قيم المعاملات b_3 a_3

—	A (. = d_m)			= d_m) B (1.111			d_m) C (1.5875=		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R
15	36.6 78	- 26.4 2	0.97 81	26.6 68	- 19.8 5	0.98 61	15.3 05	- 9.04 6	0.99 40
20	38.6 65	- 29.9 1	0.98 81	26.3 76	- 17.6 2	0.99 55	19.0 59	- 11.0 1	0.96 48
25	40.1 52	- 32.9 5	0.97 65	22.1 62	- 13.9 9	0.99 77	22.1 62	- 13.9 9	0.99 77

() : قيم المعاملات b_4 a_4

—	A (. = d_m)			= d_m) B (1.111			d_m) C (1.5875=		
	a_4	b_4	R	a_4	b_4	R	a_4	b_4	R
15	94.5 76	- 33.8 76	0.99 87	91.6 42	- 44.5 59	0.95 18	72.1 29	- 31.9 59	0.96 55
20	96.1 29	- 42.6 11	0.96 55	86.6 99	- 37.4 37	0.98 77	70.9 42	- 29.0 37	0.99 46
25	96.2 5	- 52.4 27	0.98 15	92.1 29	- 53.2 64	0.96 55	85.5 59	- 59.7 32	0.93 62

(17)

:() قيم المعاملات a_5 b_5

P(cm)	A (\cdot = d_m)			= d_m) B (1.111			d_m) C (1.5875=		
	a_5	b_5	R	a_5	b_5	R	a_5	b_5	R
10	65.4 01	- 92.3 5	0.97 77	21.8 4	-29	0.96 94	29.3 1	-43.5	0.99 18
15	218. 65	- 277. 2	0.98 95	155. 85	- 199. 0	0.97 90	124. 64	- 160. 4	0.97 98
20	389. 77	- 464. 5	0.97 95	290. 99	- 347. 8	0.98 13	269. 26	- 323. 9	0.98 70
25	570. 93	- 653. 7	0.97 41	441. 91	- 508. 4	0.99 62	354. 77	- 406. 7	0.99 33

(18)

:() قيم المعاملات a_6 b_6

P(cm)	A (\cdot = d_m)			= d_m) B (1.111			d_m) C (1.5875=		
	a_6	b_6	R	a_6	b_6	R	a_6	b_6	R
10	408	-600	0.98 91	284. 6	-410	0.97 31	262. 8	-380	0.98 12
15	108 0.1	- 1387 .5	0.95 05	615. 14	- 771. 43	0.98 79	562	- 707. 14	0.99 41
20	129	- 1542	0.99	932.	-	0.99	870	- 1028	0.99

	8.6	.9	40	71	1100	08		.6	54
25	149 4.4	- 1700	0.99 31	1211 .7	- 1375	0.99 08	1131 .7	- 1285 .7	0.99 24

() : نسبة الزيادة في التصريف لوحدة العرض مع نسبة الزيادة في عمق النحر

نسبة الزيادة في عمق النحر (% D_s)		نسبة الزيادة في التصريف لوحدة العرض في %	نسب الزيادة في ارتفاع %h
الزيادة	(-) للزيادة		
60	(-)	80	
	(-)		
	(-)		
	(-)		
	(-)		
	(-)		

() : نسبة الزيادة في التصريف لوحدة العرض مع نسبة الزيادة في طول حفرة النحر

نسبة الزيادة في طول حفرة النحر (% D_s)		زيادة في التصريف لوحدة العرض في %	نسب الزيادة في %h
الزيادة	(-) للزيادة		
40	(-)	80	
	(-)		
	(-)		
	(-)		
	(-)		
	(-)		

() : نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي مع نسبة النقصان في عمق النحر

نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي %		نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي %
%	(-)	
.	(- .)	8.695652
	(-)	26.08696
	(-)	57.6087

() : زيادة في عمق الماء الذيلي مع نسبة النقصان في طول حفرة النحر

نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي %		نسبة الزيادة في عمق الماء الذيلي %
%	(-)	
.	(- .)	8.695652
	(-)	26.08696
	(-)	57.6087

() : نسبة الزيادة في ارتفاع السد الغاطس مع نسبة الزيادة في عمق النحر

نسبة الزيادة في عمق النحر %		نسبة الزيادة في ارتفاع السد الغاطس %
معدل نسبة الزيادة	(-) للزيادة	
	(-)	
	(-)	
	(-)	

() : نسبة الزيادة في ارتفاع السد الغاطس مع نسبة الزيادة في طول حفرة النحر

نسبة الزيادة في طول حفرة النحر %		نسبة الزيادة في ارتفاع السد الغاطس %
معدل نسبة الزيادة	(-) للزيادة	
	(-)	
	(-)	
	(-)	

() : نسبة الزيادة في معدل قطر مواد

نسبة الزيادة في معدل قطر مواد %		نسبة الزيادة في معدل قطر مواد %
%	(-)	
.	(-)	.
.	(-)	.

() : نسبة الزيادة في معدل قطر مواد القاع مع نسبة النقصان في طول ح

نسبة الزيادة في معدل قطر مواد القاع %		نسبة الزيادة في معدل قطر مواد القاع %
%	(-)	
	(-)	

	(-)	.
	(-)	.

٧. تغيير شكل عمق النحر عرضياً

تعتبر دراسة تغيير شكل مقطع النحر عرضياً من النقاط المهمة في دراسة النحر مؤخر السدود الغاطسة المثلثية الشكل لأن خصائص حفرة النحر من عمق وطول سيتغير عرضياً من مركز

لوحظ في جميع التجارب التي تم إجراؤها مختبرياً أن أقصى عمق للنحر

يحصل في الأطراف، ثم يبدأ بالنقصان وصولاً إلى وسط القناة أي مركز السد الغاء،

حيث تراوحت نسبة النقصان في عمق النحر بين المركز وجوانب القناة من (-) %

يلاحظ ذلك في الأشكال () () .

حفرة النحر ثلاثية وثنائية الأبعاد للتجربة () (=P) (=dm) (=h) .

ويعود السبب في حصول أقصى عمق نحر عند الجوانب إلى ظهور دوامات مائية في الجوانب

نتيجة ارتطام الماء بجدران القناة مما يعمل على تحريك جزيئات القاع بشكل مستمر ولولبي ومن

ثم حركتها والانتقال من مكانها أسفل السد الغاطس إلى مكان آخر أبعد ولكن أكثر استقراراً، أما

بب قلة النحر في مركز القناة فيعود إلى ضعف قوة جريان الماء في المركز وذلك بسبب شكل

٨. استنباط علاقة وضعية لحساب عمق النحر مؤخر السد الغاطس المثلثي الشكل

لقد تم إدخال جميع النتائج المتعلقة بعمق النحر مؤخر السد الغاطس المثلثي في البرنامج

الإحصائي (SPSS - 11.5) للحصول على علاقة وضعية لحساب عمق النحر النسبي

(Ds/d_m) بدلالة المتغيرات اللابعدية (Fro) (H/P) (Tw/P) وكانت العلاقة بين هذه

المتغيرات كالآتي:

$$\frac{D_s}{d_m} = 0.6255 \times (Fro)^{1.144} \times (H/P)^{0.296} / (Tw/P)^{0.71618} \dots\dots\dots ()$$

(R) يساوي (.) .

كما يمكن تبسيط المعادلة () للحصول على المعادلة الآتية:

$$\frac{D_s}{d_m} = 0.6255 \times (Fro)^{1.144} \times (H)^{0.296} \times (P)^{0.42018} / (Tw)^{0.71618} \dots\dots\dots ()$$

٩. استنباط علاقة وضعية لحساب طول حفرة النحر مؤخر السد الغاطس المثلثي :

تم إدخال جميع البيانات المتعلقة بطول حفرة النحر مؤخر السدود الغاطسة المثلثية في البرنامج

(SPSS - 11.5) وتم التوصل الى المعادلة الوضعية التالية لحساب قيم (L_s/dm)

بدلالة المتغيرات (Fro) (H/P) (Tw/P) وكما يلي :

$$\frac{L_s}{d_m} = 4.0268 \times (Fr_o)^{0.9825} / \left((T_w/P)^{0.3401} \times (H/P)^{0.3666} \right) \dots\dots\dots ()$$

(R) يساوي (.) .
ويمكن تبسيط المعادلة () للحصول على المعادلة الآتية:-

$$\frac{L_s}{d_m} = 4.0268 \times (Fr_o)^{0.9825} \times (P)^{0.7067} / \left((T_w)^{0.3401} \times (H)^{0.3666} \right) \dots\dots\dots ()$$

$$168 \geq L_s/d_m \geq 11 \quad 42 \geq D_s/d_m \geq 1 \quad () \quad ()$$

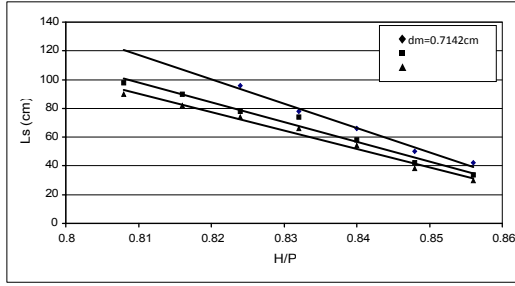
$$.0.86 \geq H/P \geq 0.58 \quad 0.92 \geq T_w/P \geq 0.22 \quad 36.77 \geq Fr_o \geq 1.78$$

١٠. طريقة تصميمية

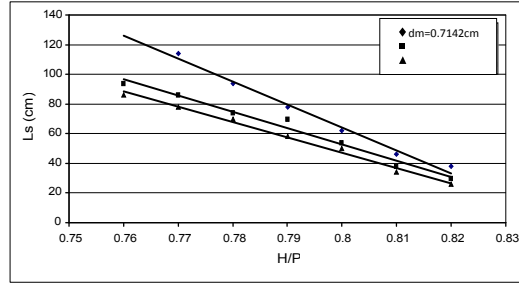
أن الإجراءات التصميمية تعتمد في الأساس على النتائج التي تم الحصول عليها مسبقاً من التجارب المختبرية بالإضافة إلى المعطيات الرئيسية التي اعتمدت عليها هذه التجارب. ويمكن تلخيص طريقة تصميميه بما يلي : من المعطيات الحقلية يمكن الحصول على عمق الماء (Tw) واختيار ارتفاع السد الغاطس

(P). يتم إيجاد مقدار ارتفاع الماء فوق السد الغاطس (h) وذلك من معرفة مقدار التصريف (q) وادخالها في المعادلة التي تم استنباطها من التجارب المختبرية بين كل (h) (q) (R) يساوي . وهي كآلاتي :

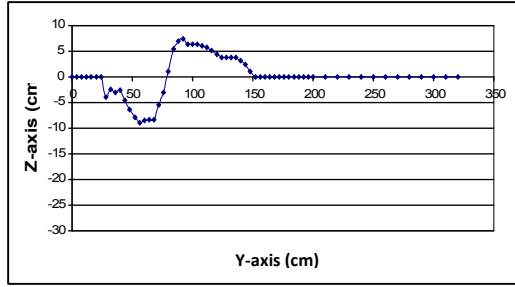
$$q = 2.6171 \times h \dots\dots\dots ()$$



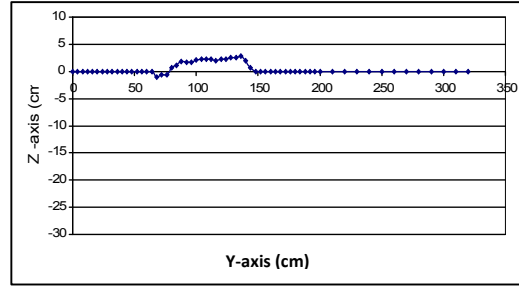
الشكل (٢١): العلاقة بين طول حفرة النحر و (H/P) ل (P=٢٥سم)



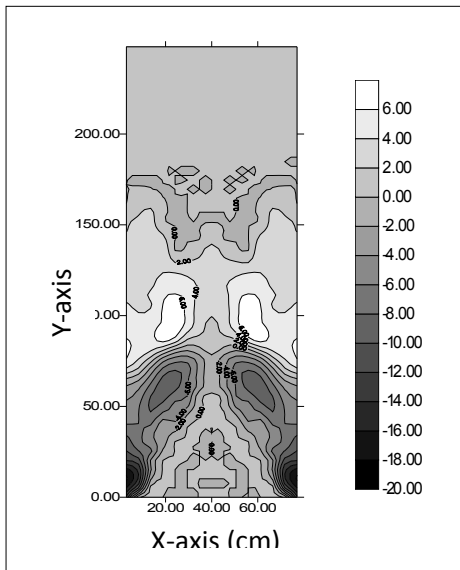
الشكل (٢٠): العلاقة بين طول حفرة النحر و (H/P) ل (P=٢٠سم)



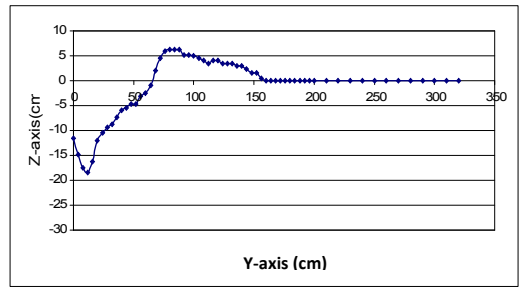
شكل (٢٣) مقطع طولي للنحر على بعد ٢٠ سم للتجربة (٥٩) من مركز القناة للتجربة (٥٩)



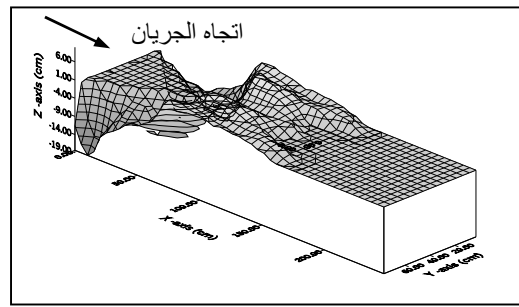
شكل (٢٢) مقطع طولي للنحر عند مركز القناة للتجربة (٥٩) (P=٢٠سم، dm=١.١١سم) من مركز القناة للتجربة (٥٩) (h=٥سم)



شكل (٢٦) مقطع ثنائي الأبعاد لشكل النحر الحاصل للتجربة (٥٩)



شكل (٢٤) مقطع طولي للنحر على بعد ٣٦ سم من مركز القناة للتجربة (59)



شكل (25) مقطع ثلاثي الأبعاد لشكل النحر الحاصل للتجربة (٥٩)

حيث تقسم قيمة التصريف الأقصى للقناة (Q) (m^3/sec) (W) (m) على أقصى تصريف لوحدة عرض القناة (q) (m^2/sec)، التي بدورها تدخل في المعادلة () لإيجاد أقصى ارتفاع للماء فوق السد (h) (m). يتم إيجاد الفرق في منسوب (H) أي مقدار السقوط من المعادلة التالية :

$$H = h + P - Tw \quad ()$$

يتم بعدها اختيار قيمة لمعدل قطر مواد القاع (dm) حسب توفرها. بعدها نجد عمق النحر متوقع من المعادلة () وباستخدام المتغيرات المذكورة أعلاه، وإعطاء القيمة التصميمية لسماك الحماية المطلوبة التي تساوي مقدار عمق النحر مضروباً بمعامل امان (F.S.) الذي يساوي 1.5 (Smith, 1985). ولإيجاد طول حفرة النحر الحاصلة مؤخر السد الغاطس تستخدم (2) وللحصول على القيمة التصميمية لطول الحماية المطلوبة التي تساوي مقدار طول

1.5.

١١. الاستنتاجات

. تم الحصول على علاقة طردية قوية بين عمق النحر (D_s) ورقم فروود بدلالة كثافة مواد (Fro) ()، واتضح بأن العلاقة الخطية هي افضل العلاقات التي تصف تأثير Fr_o على عمق النحر، وتراوح معامل الارتباط ما بين (.) (.)

. اتضح بأن هناك علاقة طردية قوية بين طول حفرة النحر (L_s) و ورقم فروود بدلالة كثافة (Fro) () لخطية هي افضل العلاقات التي تصف تأثير (Fro) على طول حفرة النحر وكان معامل الارتباط ما بين (.) (.)

. تم استنتاج علاقة عكسية بين عمق النحر ونسبة عمق الماء الذيلي الى ارتفاع السد الغاطس (Tw/P) (15)، ولوحظ أن العلاقة الخطية هي افضل العلاقات التي تصف تأثير هذه النسبة على عمق النحر، ووجد بأن معامل الارتباط ما بين (.) (.) . تم الحصول على علاقة عكسية بين طول حفرة النحر ونسبة عمق الماء الذيلي إلى ارتفاع السد الغاطس (Tw/P) كما في المعادلة (16)، ولوحظ بأن العلاقة الخطية هي افضل التي تصف تأثير هذه النسبة على طول حفرة النحر، وكان معامل الارتباط يتغير ما بين (.) (.) .

. تمت دراسة العلاقة بين عمق النحر والسقوط النسبي (H/P) وتمت ملاحظة علاقة عكسية بينهما كما في المعادلة (17)، ولوحظ بأن العلاقة الخطية هي الأفضل بمعامل ارتباط بين (.) (.) .

. تمت دراسة العلاقة بين طول حفرة النحر والسقوط النسبي (H/P)، وتم الحصول على علاقة عكسية بينهما كما في المعادلة (18)، وكانت العلاقة الخطية هي الأفضل بمعامل ارتباط يتغير بين (.) (.) .

. بسبب الشكل المثلثي للسد الغاطس كان عمق النحر مختلفاً بين مركزه والجوانب، حيث لوحظ بأن أقصى عمق للنحر يحصل في الجوانب متناقصاً بالتدرج باتجاه المركز، ويعزى هذا التغير في شكل النحر بسبب الدوامات المائية الحاصلة نتيجة ارتطام الماء بجدران القناة محرّكة جزئيات القاع الى منطقة أكثر هدوءاً واستقراراً.

. تم الحصول على معادلة وضعية عامة لحساب عمق النحر النسبي (D_s/dm) بدلالة (H) وعمق الماء الذيلي (Tw) ورقم فرود بدلالة كثافة (Fro) وبمعامل ارتباط يساوي (.) .

. تم الحصول على معادلة وضعية عامة لحساب طول حفرة النحر النسبي (L_s/dm) بدلالة (H) وعمق الماء الذيلي (Tw) ورقم فرود بدلالة كثافة (Fro) وبمعامل ارتباط يساوي (.) .

. تم اقتراح طريقة بسيطة لتصميم طول وسمك الحماية الحجرية اعتماداً على البيانات الحقلية للقناة واختيار حجم الحجر المناسب المتوفر.

12. المصادر

1. الحافظ، ابراهيم عادل ابراهيم ، (٢٠٠٥) "دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلثية"، رسالة ماجستير، قسم هندسة الموارد المائية، كلية الهندسة جامعة الموصل، حزيران.
2. 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.
3. British Standard Institution. (1985), "Methods of Measurement of Liquid Flow in Open Channel", London, England, BS3680, (PartA).
4. Eggenberger, W. (1943), "Die Kolkbildung bein einen uberstromen und beider kombination uber stromen – unterstromen" , Dissertation, ETH Zurich.
5. Jaeger, C. (1939), "Ueber die Aehnlichkeit bei Flussaulichen Modeellrer suchen", W.U.W. 34, No. 23-24, 269.
6. Pe, J.A., Achinte, J.R., and Jegat, H.J. (1980), "Estudio Experimental de Caida de Seccion Trapezial", Proceeding of the 9th Congress Latinoamericano de Hidraulica, Vol. 1, Merida, Venezuela, June 30-July 4, (in Spanish). PP. 447-456.
7. Smith, C.D. (1985), "Hydraulic Structures", University of Saskatchewan Printing Services, Saskatoon, Canada.
8. U.S.B.R. (1995), "Stream Stability at Highway Structures" Hydraulic Engineering Circular No.20, Federal Highway Administration.
9. 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.