

دراسة النحر في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدارات والبوابات المركبة
بهبزاد محمد علي نوري موفيق يونس محمد الجبوري أحمد عبد الحميد أحمد القطان
أستاذ مساعد مدرس أستاذ مساعد
قسم الهندسة المدنية قسم هندسة الموارد المائية قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة - جامعة دهوك كلية الهندسة - جامعة الموصل كلية الهندسة - جامعة دهوك

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة خصائص النحر مختبرياً مؤخر الهدارات والبوابات المركبة ، إذ تضمنت الدراسة قياس أقصى عمق و أقصى طول لحفرة النحر مؤخر تلك المنشآت وتأثير ارتفاع المنشأ وارتفاع الفتحة أسفل المنشأ و التصريف المار في القناة وحجم مواد القعر عليهم حيث أجريت (234) تجربة في قناة مختبرية خرسانية واستخدمت في التجارب ثلاث نماذج من الحصى المكسر تراوح معدل قطرها (D_{50}) بين (1.43-2.21) سم وثلاثة ارتفاعات للمنشأ (15 و 20 و 30) سم وثلاثة ارتفاعات للفتحة أسفل المنشأ (1 و 2 و 3) سم ، بينت النتائج المختبرية وجود علاقة خطية طردية جيدة بين العمق النسبي للنحر (D_s/D_{50}) مع رقم فرود (Fr_0) بمعامل تحديد (R^2) تراوح بين (0.9729-0.9911) و اخرى بين الطول النسبي للنحر (L_s/D_{50}) مع (Fr_0) بمعامل تحديد (R^2) تراوح بين (0.9636-0.9947) بالنسبة للهدارات . وعلاقة خطية طردية جيدة بين (D_s/D_{50}) مع (Fr_0) بمعامل تحديد (R^2) تراوح بين (0.972-0.9866) ومع (q_u/q_d) بمعامل تحديد (R^2) تراوح بين (0.9608-0.9904) و اخرى بين (L_s/D_{50}) مع (Fr_0) بمعامل تحديد (R^2) تراوح بين (0.9861-0.9985) ومع (q_u/q_d) بمعامل تحديد (R^2) تراوح بين (0.9847-0.9955) بالنسبة للبوابات المركبة . كما تم استنباط علاقات وضعية الأولى لحساب (D_s/D_{50}) بمعامل تحديد ($R^2=0.9311$) والثانية لحساب (L_s/D_{50}) بمعامل تحديد ($R^2=0.9421$) مؤخر الهدارات وكلاهما بدلالة (Fr_0) و ($\Delta H_w/P$) والثالثة لحساب (D_s/D_{50}) بمعامل تحديد ($R^2=0.8989$) والرابعة لحساب (L_s/D_{50}) بمعامل تحديد ($R^2=0.9212$) مؤخر البوابات المركبة بدلالة (Fr_0) و ($\Delta H_t/P$) و ($h_0/\Delta H_t$) و (q_u/q_d) ، كما وتبين من البحث بأن الجريان أعلى و أسفل البوابة المركبة يقلل من عمق حفرة النحر وطولها عنه فيما لو كان الجريان أعلى الهدار فقط ولكن نسبة التقليل تقل بزيادة ارتفاع الفتحة أسفل البوابة المركبة .

Laboratory Comparison Study of Scour Downstream Weirs and
Compound Gates

Bahzad M. A. Noori
Asst. Prof.
Dept. of Civil Eng.
Coll. of Eng. / Univ. of Duhok

Mwafaq Y. M. Aljubori
Lect.
Dept. of Water Resources Eng.
Coll. of Eng. / Univ. of Mosul

Ahmad A. A. Alkatan

Abstract

In the present investigation , a laboratory study of scour characteristics downstream weirs , compound gates has been conducted . The study included the measurement of maximum scour depth and the length of scour hole downstream these structures . Also , the effects of structure height , undersluice opening height , discharge variation and bed material size on the depth and length of scour hole , Two hundred eighty eight Experiments were conducted in a concrete laboratory channel Three sizes of rocks were used are in range of (1.43-2.21) cm and three of 15,20 and 30cm and Three under gate opening heights of 1,2 and 3cm were tested Experimental. Results of this study showed a good direct relationships between relative scour depth (D_s/D_{50}) with Froud Number (Fr_0) of correlation factor (R^2) between (0.9729-0.9911) and other between relative scour length (L_s/D_{50}) with (Fr_0) of correlation factor (R^2) between (0.9636-0.9947) for weirs and another good direct relationships between (D_s/D_{50}) with (Fr_0) of correlation factor (R^2) between (0.972-0.9866) and with (q_u/q_d) of correlation factor (R^2) between (0.9608-0.9904) and other relationship between (L_s/D_{50}) with (Fr_0) of correlation factor (R^2) between (0.9861-0.9985) and with (q_u/q_d) of correlation factor (R^2) between (0.9847-0.9955), many relationships were obtained the first to estimate (D_s/D_{50}) of correlation factor ($R^2=0.9311$) , the second for (L_s/D_{50}) of correlation factor ($R^2=0.9421$) downstream weirs each of them in terms of (Fr_0) and ($\Delta H_w/P$) , the third to estimate (D_s/D_{50}) of correlation factor ($R^2=0.8989$) and the forth for (L_s/D_{50}) of correlation factor ($R^2=0.9212$) downstream compound gates each of them in terms of (Fr_0), ($\Delta H_w/P$), ($h_0/\Delta H_t$) and (q_u/q_d) . It was also shown that the scour depth and length downstream compound gates are less than those downstream weirs but the percentage decrement will decrease if the opening of compound gate is increased .

Key Words : Hydraulic, Scour , Scour Downstream Weirs and Compound Gates .

قائمة الرموز					
الرمز	التسمية	الرمز	التسمية	الرمز	التسمية
Y_n	النسبة بين عمق الجريان إلى عرض القناة .	h'	عمق الماء فوق حافة المنشأ .		معاملات. $a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, a_4, b_4, a_5, b_5, a_6, b_6$
ΔH_t	الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر البوابة المركبة.	h_0	ارتفاع الفتحة السفلية للبوابة المركبة .		ثابت المعادلة (Eggenberger) وتعتمد قيمته على النسبة بين التصريف المار فوق البوابة إلى المار تحتها.
ΔH_w	الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر الهدار .	P	ارتفاع المنشأ .		عمق حفرة النحر .
$\Delta \rho_s$	الفرق بين الكثافة الكتلية لمواد القعر والماء .	q_t	التصريف الكلي لوحدة العرض المار أعلى وأسفل البوابة المركبة.		متوسط قطر مواد القعر .
ρ_w	الكثافة الكتلية للماء .	q_u	التصريف لوحدة العرض المار أعلى البوابة المركبة.		قطر فتحة المنخل التي تمرر 90% من مواد القعر .
μ	اللزوجة الديناميكية.	q_d	التصريف لوحدة العرض المار أسفل البوابة المركبة.		رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر .
		q_w	التصريف لوحدة العرض المار فوق الهدار .		عمق الجريان مؤخر البوابة المركبة.
		Re	رقم رينولدز .		عمق الجريان مؤخر الهدارات.

1. المقدمة :

إن خزن المياه مقدم السدود والهدارات في الأنهار والقنوات المفتوحة يستفاد منه في الاستخدام البشري والزراعة والصناعة فضلا عن الاستخدامات الأخرى ، إن الجانب الاقتصادي من الجوانب المهمة والواجب دراستها عند إقامة تلك المنشآت إذ يجب الأخذ بنظر الاعتبار توفر المواد في المنطقة التي سيتم فيها إقامة المنشأ من حيث مادة المنشأ نفسه و كذلك المواد المستخدمة في فرش الأرضية مؤخر هذا المنشأ، فإذا توفر حجر بحجم ونوعية مناسبة قدر الإمكان يحدد استخدامه بدلا عن استخدام أرضية خرسانية مؤخر المنشأ والتي يكون الغرض الأساسي منها هو تبديد طاقة الجريان المار فوق حافة الهدار ، إلا إن استخدام أرضية حصوية له العديد من المحاذير منها حصول النحر في تلك الأرضية الأمر الذي يؤدي بالتالي إلى رفع تلك المواد عن القعر وتركها معرضة لمباشرة للجريان المار فوق حافة الهدار بكل طاقته الأمر الذي يؤدي بالتالي إلى تآكل ذلك القعر فيؤثر ذلك سلبا على استقرارية المنشأ وبالتالي فشله (الحافظ، 2005) ، ويعرف النحر الناتج من السقوط الحر للماء من فوق حافة الهدار بأنه إزاحة مواد القعر بفعل طاقة الجريان وتحريكها إلى أبعد مسافة مؤخر الهدار مما يكون حفرة للنحر في مؤخره والتي تؤثر سلبا على استقراره ، كما يعرف النحر الناتج من السقوط الحر للماء من فوق حافة البوابة المركبة والجريان الخارج من البثق الموجود أسفلها فهو إزاحة مواد القعر بفعل الطاقة المشتركة لهذين النوعين من الجريان مما يؤدي إلى تحريك جزيئاتها إلى أبعد مسافة مؤخر البوابة المركبة وتكون حفرة للنحر والتي تؤثر سلبا على استقرارها أيضا.

2. عرض البحوث السابقة :

لقد عنيت مشكلة النحر مؤخر المنشآت الهيدروليكية كالهدارات والمساقط المائية والسدود وغيرها ومنذ القدم بالكثير من الاهتمام من قبل الباحثين لما لتلك المشكلة من تأثير سلبي على تلك المنشآت ، درس العديد من الباحثين أمثال ايكبركر (Eggenberger,1943) وايماز (Uyumaz,1988) النحر مؤخر البوابات المركبة العمودية والباحثون دارگاهي (Dargahi,2003) واستنتجوا المعادلات أدناه لحساب عمق وطول النحر ، ودرس الباحث جين وآخرون (Chen, et al, 2005) مختبرياً النحر مؤخر الهدارات وتأثير الاختلاف في مستوى الماء مقدم ومؤخر تلك الهدارات على طول حفرة النحر وتوصلوا الى ان الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر الهدارات يزداد بزيادة رقم فرود للجريان وان طول حفرة النحر تتأثر بخصائص الهدار الهندسية و قطر مواد القعر و رقم فرود و السرعة الحرجة للجريان والتي عندها تبدأ

نوري : دراسة النحر في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدارات والبوابات المركبة

مواد القعر بالحركة وان السرعة الحرجة على عدة عوامل أهمها الوزن النوعي لمواد القعر. وقدم بعضهم معادلات لحساب خصائص النحر مؤخر المنشآت ، ودرس الباحث القطان (2007) النحر مؤخر الهدارات والبوابات المركبة ، وقد وضع (Simons and Şentürk,1992) النحر مؤخر المنشآت الهيدروليكية المختلفة كالهدارات والسدود وغيرها ، كما قارن الباحث أساي و آخرون (Asai, et al, 2002) في دراستهم المخبرية بين عمق حفرة النحر و امتدادها في حالة جريان الماء فوق هدار ذي حافة حادة و هدار مائل المؤخر بعدة ميول واستنتجوا ان عمق النحر يزداد في القنوات ذات القعر المائل عنه في القنوات ذات القعر الأفقي :-

$$D_s = C \left(\frac{\Delta H_t^{0.2} q_t^{0.6}}{D_{90}^{0.4}} \right) - h_{2t} \quad \text{----- Eggenberger (Dargahi,2003 (مذكور في$$

$$D_s = w \frac{\Delta H_t^{0.5} q_t^{0.6}}{D_{90}^{0.4}} \quad \text{----- Uyumaz}$$

$$\frac{D_s}{\Delta H_w} = \left(\frac{\Delta H_w}{D_{50}} \right)^a \quad \text{----- Dargahi}$$

$$\frac{L_s}{\Delta H_w} = \left(\frac{\Delta H_w}{D_{50}} \right)^b \quad \text{----- Dargahi}$$

حيث اعتمدت قيمة الأسس (a و b) على قيمة $(Y_n = \text{النسبة بين عمق الجريان إلى عرض القناة})$ إذ كانت $(a=1/3, b=1/4.5)$ لقيمة $(Y_n=0.167)$ و $(a=1/12, b=1/3)$ لقيمة $(Y_n=0.5)$.

3. العمل المختبري :

أجريت التجارب في قناة مشيدة من الخرسانة بطول (24.64 م) و بعرض (0.81 م) و بعمق (0.76 م) ، ثبتت على جداري القناة الخرسانية سكة حديدية تسهل حركة أجهزة قياس العمق (Point Gages) على طول القناة ، تتصل القناة في مقدمتها بحوض تغذية بأبعاد (2.25 م × 1.25 م) و بعمق (1.2 م) ، ويكون الجريان فيها من النوع كامل الدوران أي يجهز بواسطة مضخة ومن ثم يعود الى الخزان والشكل (1) يوضح مقطع القناة المختبرية ، تم رفع منسوب أرضية القناة بمقدار (30 سم) من بداية القناة بطول (3.44 م) يليه حوض تهدئة بأبعاد (3 م × 0.81 م) و بعمق (0.3 م) ، من ثم بوابة التحكم بعمق الماء نهاية حوض التهدئة بعدها يثبت نموذج الهدار على بعد (7.5 م) في مؤخر بوابة التحكم بعمق الجريان وذلك لضمان الحصول على جريان هادئ ومنتظم عند الهدار المستخدم في التجارب حيث تم تصنيع ثلاثة نماذج للهدارات من ألواح خشبية بسلك (15 ملم) و بعرض (81 سم) أي بعرض مقطع القناة الخرسانية ، وارتفاعات (15 و 20 و 30 سم) على التوالي ، إذ كانت الهدارات المستخدمة ذات حافة حادة (Sharp Crested Weir) بعرض قمة تساوي (2 ملم) وتنحدر حوافهم بزواوية (60°) مع الأفق حسب المواصفات البريطانية (British Standard Institution, 1965) . تنزلق هذه الهدارات الخشبية داخل ساقية معدنية ثبتت على الجدران الجانبية للقناة الخرسانية وذلك لضمان حركة البوابات إلى الأعلى و الأسفل ومنها يتم الحصول على فتحة أسفل البوابة بارتفاعات متعددة مما يجعل الهدار يعمل كبوابة مركبة ، ثم يفرش الحصى المكسر ويتم التأكد من استوائيته أي أن يكون سطح نموذج الحصى المكسر موازياً لقعر القناة ، يمرر بعدها الجريان في القناة وضمن العمق المطلوب ، ويستمر الجريان لفترة لا تقل عن ساعتين حتى يستقر نموذج الحصى المكسر وتتوقف حركة مواد القعر عندها يتم إيقاف المضخة ويترك الماء لكي يبزل من القناة تماماً من مبزل لصرف الماء والذي هو عبارة عن مشبك حديدي ذي فتحات معينيه الشكل طول ضلع (0.9 سم) و بأبعاد (0.3 م × 0.8 م) موضوعة داخل إطار من الألمنيوم مثبت على جدران القناة ثم تقاس أعماق النحر طولياً و عرضياً في القناة لمسافة رجوع منسوب الحصى الى مستوي الصفر وتؤخذ أقصى قيمة للعمق باعتبارها عمق حفرة النحر بعدها يقاس طول حفرة النحر باستخدام شريط القياس من نهاية المنشأ مباشرة إلى نقطة رجوع منسوب الحجر إلى مستوي الصفر ووضحت النتائج المتمثلة بعمق وطول حفرة النحر و عمق الجريان مؤخر المنشأ والفرق في منسوب الماء مقدم ومؤخر المنشأ والتصريف لوحدة العرض المار في القناة لنموذج الحجر المكسر (A) في الجداول من (1) إلى (4) . ثم يسوى سطح الحصى المكسر ثانية ويصفر مقياس العمق الثاني عليه ، تعاد الخطوات السابقة لسنة تصاريف أخرى مختلفة يرفع بعد

جدول (1) : قياسات تجارب الهدار بالارتفاع الأول (P₁) مع النموذج (A)

h` (cm)	D _s (cm)	L _s (cm)	h _{2w} (cm)	ΔH _w (cm)	q _w (m ³ /sec/m)
2	4.2	14.8	3.00	14.00	0.0295
3	4.4	16.1	0.83	14.20	0.0348
4	6.7	20.1	0.54	14.50	0.0435
5	8.2	24.8	0.15	14.90	0.0519
6	9.8	28.7	09.5	15.10	0.0617
7	11.5	34.3	06.1	15.90	0.0712
8	12.5	39.0	07.6	16.30	0.0795

جدول (2) : قياسات تجارب البوابة المركبة بالارتفاع الأول والفتحة الأولى (V_{1,1}) مع النموذج (A)

h` (cm)	D _s (cm)	L _s (cm)	h _{2t} (cm)	ΔH _t (cm)	q _u (m ³ /sec/m)	q _a (m ³ /sec/m)	q _t (m ³ /sec/m)
2	3.9	16.1	6.10	11.90	0.0056	0.0435	0.0491
3	4.1	17.8	7.00	12.00	0.0101	0.0431	0.0531
4	5.8	22.2	7.90	12.10	0.0154	0.0443	0.0597
5	6.7	28.1	8.90	12.10	0.0215	0.0464	0.0679
6	8.1	31.7	9.70	12.20	0.0283	0.0479	0.0762
7	9.0	34.0	10.80	12.30	0.0358	0.0491	0.0849
8	10.2	40.2	11.60	12.40	0.0440	0.0510	0.0950

جدول (3) : قياسات تجارب البوابة المركبة بالارتفاع الأول والفتحة الثانية (V_{2,1}) مع النموذج (A)

h` (cm)	D _s (cm)	L _s (cm)	h _{2t} (cm)	ΔH _t (cm)	q _u (m ³ /sec/m)	q _a (m ³ /sec/m)	q _t (m ³ /sec/m)
2	3.7	17.0	7.00	12.00	0.0056	0.0527	0.0583
3	4.0	19.2	8.00	12.00	0.0100	0.0531	0.0631
4	5.1	25.1	8.90	12.10	0.0153	0.0552	0.0705
5	6.1	29.0	9.70	12.30	0.0214	0.0569	0.0783
6	6.9	33.2	10.50	12.50	0.0282	0.0576	0.0858
7	8.2	35.1	11.50	12.50	0.0357	0.0586	0.0943
8	9.4	41.5	12.10	12.90	0.0438	0.0580	0.1018

جدول (4) : قياسات تجارب البوابة المركبة بالارتفاع الأول والفتحة الثالثة (V_{3,1}) مع النموذج (A)

h` (cm)	D _s (cm)	L _s (cm)	h _{2t} (cm)	ΔH _t (cm)	q _u (m ³ /sec/m)	q _a (m ³ /sec/m)	q _t (m ³ /sec/m)
2	6.6	15.8	9.30	10.70	0.0056	0.0690	0.0746
3	7.1	23.3	9.90	11.10	0.0100	0.0708	0.0808
4	7.9	25.0	10.30	11.70	0.0153	0.0722	0.0875
5	8.0	28.5	11.40	11.60	0.0214	0.0727	0.0941
6	9.1	32.8	12.00	12.00	0.0282	0.0724	0.1006
7	10.2	40.0	12.70	12.30	0.0356	0.0737	0.1093
8	11.9	46.3	13.60	12.40	0.0437	0.0751	0.1188

جدول (5) : توضيح برنامج العمل المختبري

رقم التجربة	معدل قطر مواد القعر (سم)	ارتفاع الهدار (سم)	ارتفاع الفتحة السفلية (سم)	مدى التغير بارتفاع الماء فوق حافة المنشأ (سم)	
الهدارات					
21-1	1.43	15	0	2,3,4,5,6,7,8	
		20			
		30			
42-22	1.75	15			
		20			
		30			
63-43	2.21	15			
		20			
		30			
البوابات المركبة					
84-64	1.43	15	1	2,3,4,5,6,7,8	
			2		
			3		
104-85		20	20	1	2,3,4,5,6,7,8
				2	2,3,4,5,6,7
				3	2,3,4,5,6,7
120-105		30	30	1	2,3,4,5,6,7
				2	2,3,4,5
				3	2,3,4,5
141-121	1.75	15	1	2,3,4,5,6,7,8	
			2		
			3		
161-142		20	20	1	2,3,4,5,6,7,8
				2	2,3,4,5,6,7
				3	2,3,4,5,6,7
177-162		30	30	1	2,3,4,5,6,7
				2	2,3,4,5
				3	2,3,4,5
198-178	2.21	15	1	2,3,4,5,6,7,8	
			2		
			3		
218-199		20	20	1	2,3,4,5,6,7,8
				2	2,3,4,5,6,7
				3	2,3,4,5,6,7
234-219		30	30	1	2,3,4,5,6,7
				2	2,3,4,5
				3	2,3,4,5

4. التحليل أبعدي:

* التحليل أبعدي بالنسبة للهدارات :

إن العوامل المؤثرة على عمق وطول حفرة النحر مؤخر الهدارات عديدة ويمكن صياغة علاقة عامة لكل من عمق حفرة النحر (D_s) وطول حفرة النحر (L_s) وكما يلي :

نوري : دراسة النحر في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدارات والبوابات المركبة

$$D_s, L_s = f(q_w, D_{50}, P, \Delta H_w, g, \Delta \rho_s, \rho_w, \mu) \dots\dots\dots(1)$$

وباستخدام التحليل البعدي بطريقة (Pi-theorem) للمتغيرات في المعادلة (1) تم التوصل إلى العلاقة اللابعدية التالية بالنسبة للهدارات :

$$\frac{D_s}{D_{50}}, \frac{L_s}{D_{50}} = f\left(\frac{\Delta H_w}{P}, Fr_0, Re\right) \dots\dots\dots(2)$$

عندما تكون قيم أرقام رينولدز عالية يصل الجريان إلى الاضطراب الكامل عندها يضمحل رقم رينولدز في القنوات المفتوحة وبذلك يمكن إهماله (Chow,1959) ونتيجة لذلك يمكن إسقاط تأثيره من العلاقة (2).

*** التحليل البعدي بالنسبة للبوابات المركبة :**

إن العوامل المؤثرة على عمق وطول حفرة النحر مؤخر البوابات المركبة عديدة ويمكن صياغة علاقة عامة لكل من عمق حفرة النحر (D_s) وطول حفرة النحر (L_s) وكما يلي :

$$D_s, L_s = f(q_t, q_u, q_d, D_{50}, P, \Delta H_t, h_0, \Delta \rho_s, \rho_w, \mu) \dots\dots\dots(3)$$

وباستخدام التحليل البعدي بطريقة (Pi-theorem) للمتغيرات في المعادلة (3) تم التوصل إلى العلاقة اللابعدية التالية بالنسبة للهدارات :

$$\frac{D_s}{D_{50}}, \frac{L_s}{D_{50}} = f\left(\frac{\Delta H_t}{P}, \frac{h_0}{\Delta H_t}, \frac{q_u}{q_d}, Fr_0, Re\right) \dots\dots\dots(4)$$

عندما تكون قيم أرقام رينولدز عالية يصل الجريان إلى الاضطراب الكامل عندها يضمحل رقم رينولدز في القنوات المفتوحة وبذلك يمكن إهماله (Chow,1959) ونتيجة لذلك يمكن إسقاط تأثيره من العلاقة (4).

5. تحليل ومناقشة النتائج :

العلاقة بين العمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D_{50}) و رقم فرود (Fr_0) بدلالة كثافة مواد القعر للهدارات:
بما ان الجريان في قنوات مفتوحة لذا فان القوة الأساسية المؤثرة هي قوة الجذب الأرضي وعليه فان العامل الأكثر تأثيراً على الجريان هو رقم فرود وكما موضح بالعلاقة التالية:

$$\frac{D_s}{D_{50}} = a_1 + b_1 \times Fr_0 \text{-----} (5)$$

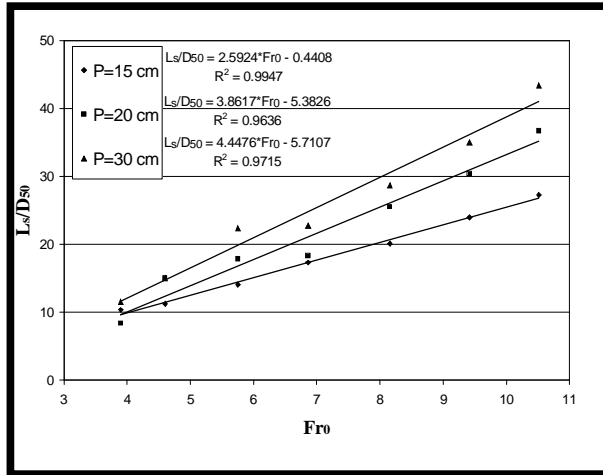
تم معالجة بيانات عمق النحر المأخوذة من التجارب المختبرية بواسطة الحاسبة وعن طريق البرنامج الجاهز (Excel) يتم الحصول على قيم (a_2, b_2) وكما موضح في الشكل (2) ومنه يتضح أن العلاقة طردية وان العمق النسبي للنحر يزداد بزيادة قيمة (Fr_0) وهذا أمر منطقي حيث أن زيادة قيمة (Fr_0) ينتج من زيادة التصريف والذي بدوره يزيد عملية النحر وان الأقطار الصغيرة للحجر تعطي أعماقا أكبر لحفرة النحر وكذلك فإن النحر يزداد بزيادة ارتفاع الهدار عند ثبوت قطر الحصى المستخدم وزيادة الارتفاع يعني زيادة مقدار سقوط الماء عموديا واصطدامه مع الطبقة الحصوية للقعر مما يؤدي إلى زيادة نحره ، إن معامل التحديد (R^2) ولكل الحالات المدروسة قد تراوح بين (0.9729) و (0.9911) مما يدل على علاقات طردية جيدة.

العلاقة بين الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) و رقم فرود (Fr_0) بدلالة كثافة مواد القعر للهدارات:
ان رقم فرود هو العامل ذو الفاعلية الاكبر في خصائص النحر مؤخر الهدارات كما اسلفنا سابقاً ، وقد وضح ذلك في المعادلة أدناه :

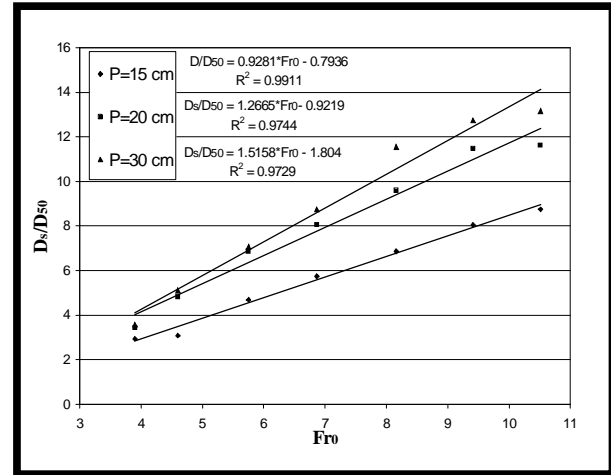
$$\frac{L_s}{D_{50}} = a_2 + b_2 \times Fr_0 \text{-----} (6)$$

وبإدخال بيانات طول النحر التي تم الحصول عليها من التجارب المختبرية في البرنامج الجاهز (Excel) يتم الحصول على قيم (a_2, b_2) وكما موضح في الشكل (3) والذي منه يتضح بأن العلاقة طردية حيث أن قيمة (L_s/D_{50}) تزداد بزيادة قيمة

(Fr₀) ولأية قيمة لرقم فرود فإن الارتفاع الأعلى للهدار يعطي أطوالاً أكبر لحفرة النحر وعندما يزداد قطر الحصى المستخدم يقل الطول النسبي لحفرة النحر ، إن معامل التحديد (R²) بين (L_s/D₅₀) و (Fr₀) للهدارات ولجميع الحالات التي تم دراستها قد تراوح بين (0.9636) و (0.9947) مما يدل على علاقات طردية جيدة .
ولكثر قيم المتغيرات اللابعدية المستخدمة في استنتاج المعادلات الوضعية وضع جزء منها في الجداول من (6) إلى (8) وهي لنموذج الحجر المكسر (C) .



شكل (3) : العلاقة بين (Fr₀) و (L_s/D₅₀) للنموذج (A) ولجميع ارتفاعات الهدار



شكل (2) : العلاقة بين (Fr₀) و (D_s/D₅₀) للنموذج (A) ولجميع ارتفاعات الهدار

جدول (6): حسابات المتغيرات اللابعدية للهدار بالارتفاع الأول (P₁) مع النموذج (C)

h' (cm)	D _s /D ₅₀	Fr ₀	h ₀ /ΔH _w	L _s /D ₅₀	ΔH _w /P
2	0.95130	2.23560	0.00000	4.75651	0.93333
3	1.58550	2.63725	0.00000	5.93431	0.94667
4	2.12911	3.29657	0.00000	8.06342	0.96667
5	2.49151	3.93314	0.00000	9.87542	0.99333
6	3.30691	4.67582	0.00000	11.46093	1.00676
7	3.66931	5.39576	0.00000	13.04643	1.06000
8	4.07701	6.02476	0.00000	14.63194	1.08667

جدول (7): حسابات المتغيرات اللابعدية للهدار بالارتفاع الثاني (P₂) مع النموذج (C)

h' (cm)	D _s /D ₅₀	Fr ₀	h ₀ /ΔH _w	L _s /D ₅₀	ΔH _w /P
2	1.08720	2.23560	0.00000	1.90260	0.95000
3	1.63080	2.63725	0.00000	6.07022	0.96000
4	2.12911	3.29657	0.00000	9.60362	0.97500
5	2.58211	3.93314	0.00000	11.64213	0.99500
6	3.39751	4.67582	0.00000	12.59343	1.00900
7	4.30351	5.39576	0.00000	14.63194	1.04500
8	5.25481	6.02476	0.00000	16.35334	1.06500

جدول (8): حسابات المتغيرات اللابعدية للهدار بالارتفاع الثالث (P₃) مع النموذج (C)

h' (cm)	D _s /D ₅₀	Fr ₀	h ₀ /ΔH _w	L _s /D ₅₀	ΔH _w /P
2	1.67610	2.23560	0.00000	6.16082	0.96667
3	2.03851	2.63725	0.00000	8.60702	0.97333
4	2.21971	3.29657	0.00000	10.05663	0.98333
5	3.12571	3.93314	0.00000	11.09853	0.99667
6	3.98641	4.67582	0.00000	13.31823	1.00333
7	5.20951	5.39576	0.00000	17.39524	1.03000
8	6.07022	6.02476	0.00000	19.52435	1.04333

علاقات وضعية لحساب عمق وطول النحر النسبي للهدارات :

علاقة وضعية لحساب عمق حفرة النحر النسبي (D_s/D₅₀):

لقد تم إدخال ثلثي البيانات المتضمنة عمق النحر مؤخر الهدارات في البرنامج الإحصائي (SPSS-11.5) للحصول على علاقة وضعية لحساب العمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D₅₀) بدلالة المتغيرات اللابعدية (Fr₀) و (ΔH_w/P) وكما يأتي :

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 0.971 (Fr_0)^{0.989} \left(\frac{\Delta H_w}{P}\right)^{0.291} \text{----- (7)}$$

وبمعامل تحديد (R²) يساوي (0.9311). ولفحص دقة المعادلة أعلاه تم التعويض بقيم المتغيرات اللابعدية الباقية المتمثلة بكل من (Fr₀) و (ΔH_w/P) في المعادلة أعلاه للحصول على قيم محسوبة لـ (D_s/D₅₀) ومقارنتها مع قيم (D_s/D₅₀) المقاسة من التجارب (حيث أن هذه القيم المقاسة لم تستخدم في استنباط المعادلة (7) ، كما في الجدول (9) حيث تراوحت نسبة الفرق بين القيم المحسوبة إلى القيم المقاسة (0.425%) و (26.06%) .

جدول (9): مقارنة بعض قيم (D_s/D₅₀) المقاسة مختبريا وأخرى محسوبة من

المعادلة (7) للهدارات

P (cm)	D ₅₀ (cm)	h` (cm)	D _s /D ₅₀ (Measured)	D _s /D ₅₀ (Calculated)	نسبة الاختلاف بينهما
15	1.4285	7	8.050403	9.976885	19.30946
	1.746	5	4.352806	5.317105	18.13578
	2.2075	6	3.306908	4.472598	26.06292
20	1.4285	3	4.830242	4.775194	1.152773
	1.746	3	3.321879	3.545547	6.308436
	2.2075	8	5.254813	5.841686	10.04629
30	1.4285	2	3.570179	4.063481	12.13989
	1.746	2	2.806415	3.017105	6.983192
	2.2075	7	5.209513	5.18746	0.425128

علاقة وضعية لحساب الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) :

لقد تم إدخال ثلثي البيانات المتعلقة بطول النحر مؤخر الهدارات في البرنامج الإحصائي (SPSS-11.5) للحصول على علاقة وضعية لحساب الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) بدلالة المتغيرات اللابعدية (Fr_0) و $(\Delta H_w/P)$ وكما يأتي:

$$\frac{L_s}{D_{50}} = 4.114 (Fr_0)^{0.825} \left(\frac{\Delta H_w}{P} \right)^{0.326} \quad \text{----- (8)}$$

وبمعامل تحديد (R^2) يساوي (0.9421). ولفحص دقة المعادلة أعلاه تم تعويض بعض قيم المتغيرات اللابعدية المتمثلة بكل من (Fr_0) و $(\Delta H_w/P)$ في المعادلة أعلاه للحصول على قيم محسوبة لـ (L_s/D_{50}) ومقارنتها مع قيم (L_s/D_{50}) المقاسة من التجارب (علماً أن هذه القيم المقاسة لم تستخدم في استنباط المعادلة (8)) ، كما في الجدول (10) حيث بلغت نسبة الفرق بين القيم المحسوبة إلى القيم المقاسة بين (2.79%) و (23.447%).

جدول (10): مقارنة بعض قيم (L_s/D_{50}) المقاسة مختبرياً وأخرى محسوبة من

المعادلة (8) للهدارات

P (cm)	D ₅₀ (cm)	h [∞] (cm)	D _s /D ₅₀ (Measured)	D _s /D ₅₀ (Calculated)	نسبة الاختلاف بينهما
15	1.4285	7	24.0112	28.8649	16.81524
	1.746	5	13.00115	16.9834	23.4479
	2.2075	6	11.46093	14.71806	22.13019
20	1.4285	3	15.05075	15.48274	2.790094
	1.746	3	10.02291	12.07764	17.01271
	2.2075	8	16.35334	18.47696	11.49332
30	1.4285	2	11.55058	13.5403	14.69481
	1.746	2	8.476518	10.56241	19.74822
	2.2075	7	17.39524	16.68755	4.240868

العلاقة بين العمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D_{50}) و رقم فرود (Fr_0) بدلالة كثافة مواد القعر للبوابات المركبة:

إن القنوات المفتوحة تتأثر بشكل كبير بالجاذبية الأرضية وبالتالي فإن رقم فرود هو الأكثر تأثيراً وكما يلي:

$$\frac{D_s}{D_{50}} = a_3 + b_3 \times Fr_0 \quad \text{----- (9)}$$

تم معالجة بيانات عمق النحر المستقاة من التجارب المختبرية بواسطة الحاسبة وعن طريق البرنامج الجاهز (Excel) يتم الحصول على قيم (a_2, b_2) وكما موضح في الشكل (4) ومنه يتضح أن العلاقة طردية وان العمق النسبي للنحر يزداد بزيادة قيمة (Fr_0) وهذا أمر منطقي حيث أن زيادة قيمة (Fr_0) ينتج من زيادة التصريف والذي بدوره يزيد عملية النحر وان الأقطار الصغيرة للحجر تعطي أعماقاً أكبر لحفرة النحر وكذلك فإن النحر يزداد بزيادة ارتفاع الهدار عند ثبوت قطر الحصى المستخدم وزيادة الارتفاع يعني زيادة مقدار سقوط الماء عمودياً واصطدامه مع الطبقة الحصوية للقعر مما يؤدي إلى زيادة نحره . كما واتضح بأن معامل التحديد (R^2) للعلاقات بين (D_s/D_{50}) و (Fr_0) للبوابات المركبة ولجميع الحالات المدروسة تراوح بين (0.972) و (0.9866) مما يدل على وجود علاقات طردية جيدة .

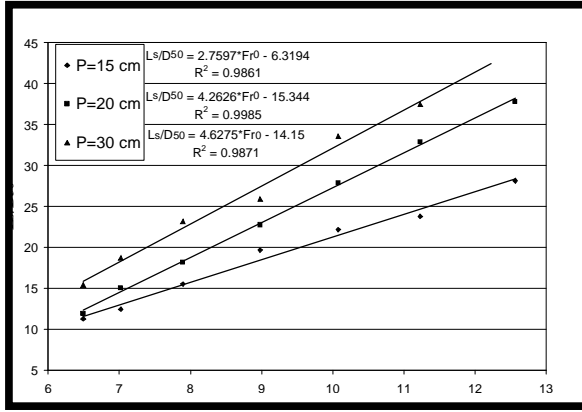
نوري : دراسة النحر في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدرات والبوابات المركبة

العلاقة بين الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) و رقم فرود (Fr_0) بدلالة كثافة مواد القعر للبوابات المركبة:

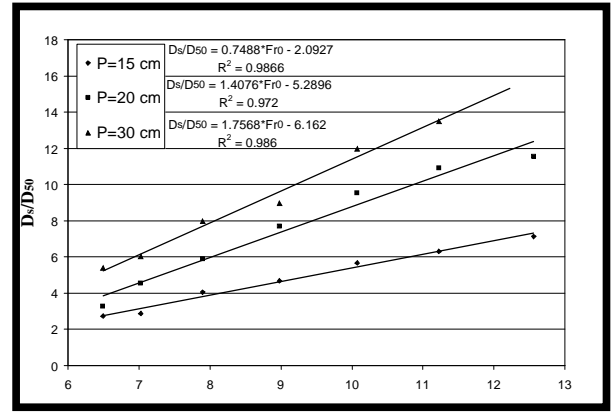
رقم فرود هو العامل المؤثر على النحر مؤخر البوابات المركبة ، لذا تم تحليل البيانات المخبرية ووجد بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تربط بين (L_s/D_{50}) و (Fr_0) والموضحة في أدناه :

$$\frac{L_s}{D_{50}} = a_4 + b_4 \times Fr_0 \quad \text{----- (10)}$$

وبإدخال القراءات المخبرية المتمثلة بطول النحر والتي تم الحصول عليها من التجارب في البرنامج الجاهز (Excel) تم إيجاد قيم معاملات المعادلة أعلاه (a_4, b_4) بثبوت قطر الحصى المستخدم وثبوت ارتفاع البوابة المركبة وثبوت ارتفاع الفتحة أسفل البوابة المركبة واتضح بأن العلاقة طردية حيث تزداد قيمة (L_s/D_{50}) عند زيادة قيمة (Fr_0) ولأية قيمة من (Fr_0) فإن الارتفاع الأعلى للبوابة المركبة يعطي قيما أعلى للطول النسبي لحفرة النحر في حالة ثبوت ارتفاع الفتحة أسفل البوابة المركبة وكما موضح في الشكل (5) وهذا منطقي حيث أن البوابة الأعلى تزيد من ارتفاع سقوط الماء الذي يصطدم بالحصى ويرفعه إلى الأعلى من ثم التصريف المار تحت البوابة المركبة يزيح الحصى بعيدا . كما اتضح بأن معامل التحديد (R^2) للعلاقات بين (L_s/D_{50}) و (Fr_0) للبوابات المركبة ولجميع الحالات التي تم دراستها تراوح بين (0.9861) و (0.9985) مما يدل على علاقات طردية جيدة.



شكل (5) : العلاقة بين (L_s/D_{50}) و (Fr_0) للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها ولجميع الارتفاعات ($h_0=1\text{cm}$)



شكل (4) : العلاقة بين (D_s/D_{50}) و (Fr_0) للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها ولجميع الارتفاعات ($h_0=1\text{cm}$)

العلاقة بين العمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D_{50}) و التصريف النسبي (q_u/q_d) للبوابات المركبة :

نظرا للتأثير الذي يتسبب به التغير في نسبة التصريف المار فوق البوابة المركبة إلى التصريف المار تحتها على عمق حفرة النحر مؤخر تلك البوابات ، فقد تم تحليل البيانات المخبرية ووجد بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تربط بين كل من (D_s/D_{50}) و (q_u/q_d) والموضحة في أدناه :

$$\frac{D_s}{D_{50}} = a_5 + b_5 \times \frac{q_u}{q_d} \quad \text{----- (11)}$$

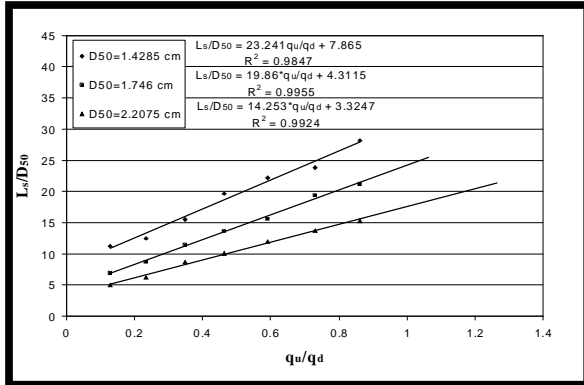
وبإدخال بيانات عمق النحر التي تم الحصول عليها من التجارب المخبرية في البرنامج الجاهز (Excel) تم إيجاد قيم معاملات المعادلة أعلاه (a_5, b_5) بثبوت قطر الحصى المستخدم وبثبوت ارتفاع البوابة المركبة وبثبوت ارتفاع الفتحة أسفل البوابة وكما مبين في الشكل (6) ومنه يتضح أن عمق النحر النسبي يزداد بزيادة التصريف النسبي ولكل الحالات المدروسة وزيادة التصريف النسبي تعني زيادة التصريف الساقط من فوق حافة البوابة ومن ثم تحريك الحصى أكثر بينما يساعد التصريف المار تحت البوابة على إزاحة الحصى بعيدا وبذلك تكون عملية النحر أسهل ، وكذلك يمكن ملاحظة أن معامل التحديد (R^2) عال في هذه الأشكال مما يعني أن العلاقة قوية وان التصريف النسبي له تأثير كبير على العمق النسبي لحفرة

النحر . لقد اتضح بأن معامل التحديد (R^2) بين (D_s/D_{50}) و (q_u/q_d) للبوابات المركبة ولكل الحالات المدروسة تراوح بين (0.9608) و (99040.) مما يدل على علاقات طردية جيدة.

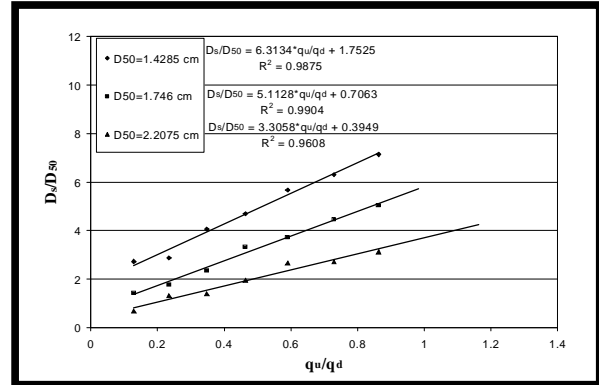
العلاقة بين الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) و التصريف النسبي (q_u/q_d) للبوابات المركبة:
نظرا للتأثير المهم الذي يسببه التغير في نسبة التصريف النسبي على طول حفرة النحر مؤخر البوابات المركبة ، فقد تم تحليل البيانات المخبرية ووجد بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تربط بين كل من (L_s/D_{50}) و (q_u/q_d) والموضحة في أدناه :

$$\frac{L_s}{D_{50}} = a_6 + b_6 \times \frac{q_u}{q_d} \quad \text{----- (12)}$$

وبإدخال قياسات طول النحر التي تم الحصول عليها من التجارب المخبرية في البرنامج الجاهز (Excel) تم ايجاد قيم معاملات المعادلة أعلاه (a_6, b_6) بثبوت قطر الحصى المستخدم وثبوت ارتفاع البوابة المركبة وثبوت ارتفاع الفتحة أسفل تلك البوابة وكما في الشكل (7) ومنه يتضح بأن هناك علاقة طردية بين (L_s/D_{50}) و (q_u/q_d) أي أن الطول النسبي لحفرة النحر يزداد بزيادة التصريف النسبي (q_u/q_d) ولكل الحالات التي تم دراستها وهذا يعني أن زيادة التصريف العلوي يسبب تحريك أكبر للحجر ثم إن التصريف السفلي يؤدي إلى إزاحة الحصى بعيدا عن البوابة ويمكن ملاحظة قوة العلاقات من خلال القيم العالية لمعاملات التحديد (R^2) وكذلك يلاحظ بأن الطول النسبي للنحر أقل في الأقطار الكبيرة للحجر المستخدم ولنفس قيم التصريف النسبي . لقد اتضح بأن معامل التحديد (R^2) للعلاقات بين (L_s/D_{50}) و (q_u/q_d) ولجميع الحالات التي تم دراستها قد تراوح بين (0.9847) و (0.9955) مما يدل على علاقات طردية جيدة .
ونظرا لكثرة قيم المتغيرات اللابعدية المستخدمة في استنتاج المعادلات الوضعية ارتأينا وضع جزء منها في الجداول من (11) إلى (13) وهي لنموذج الحجر المكسر (B) .



شكل (7) : العلاقة بين (L_s/D_{50}) و (q_u/q_d) للبوابة المركبة بارتفاع (P=15cm) وفتحة ارتفاعها ($h_0=1cm$) ولجميع نماذج مواد



شكل (6) : العلاقة بين (D_s/D_{50}) و (q_u/q_d) للبوابة المركبة بارتفاع (P=15cm) وفتحة ارتفاعها ($h_0=1cm$) ولجميع نماذج مواد

جدول (11): حسابات المتغيرات اللابعدية للبوابة المركبة بالارتفاع الأول والفتحة الأولى ($V_{1,1}$) مع النموذج (B)

h' (cm)	D_s/D_{50}	Fr_0	$h_0/\Delta H_t$	L_s/D_{50}	q_u/q_d	$\Delta H_t/P$
2	1.43184	5.28979	0.0840	6.93013	0.1287	0.79333
3	1.77549	5.72073	0.0833	8.70561	0.2343	0.80000
4	2.34822	6.43178	0.0826	11.45475	0.3476	0.80667
5	3.32188	7.31521	0.0826	13.63116	0.4637	0.80667
6	3.72279	8.20941	0.0813	15.57847	0.5908	0.82000
7	4.46735	9.14671	0.0819	19.35853	0.7291	0.81333
8	5.04009	10.23483	0.0806	21.19129	0.8628	0.82667

جدول (12): حسابات المتغيرات اللابعدية للبوابة المركبة بالارتفاع الثاني والفتحة الأولى (V_{1,2}) مع النموذج (B)

h' (cm)	D _s /D ₅₀	Fr ₀	h ₀ /ΔH _t	L _s /D ₅₀	q _u /q _d	ΔH _t /P
2	1.83276	5.28979	0.0591	9.04926	0.1287	0.80476
3	2.34822	5.72073	0.0588	10.13746	0.2320	0.80952
4	3.37915	6.43178	0.5848	13.63116	0.3446	0.81429
5	3.55097	7.31521	0.5848	15.34937	0.4571	0.81429
6	4.69645	8.20941	0.0578	18.55670	0.5809	0.82381
7	5.61283	9.14671	0.0581	21.24857	0.7117	0.81905
8	6.70103	10.23483	0.0575	26.63230	0.8375	0.82857

جدول (13): حسابات المتغيرات اللابعدية للبوابة المركبة بالارتفاع الثالث والفتحة الأولى (V_{1,3}) مع النموذج (B)

h' (cm)	D _s /D ₅₀	Fr ₀	h ₀ /ΔH _t	L _s /D ₅₀	q _u /q _d	ΔH _t /P
2	4.35281	5.28979	0.03717	9.45017	0.1261	0.86774
3	4.75372	5.72073	0.03704	12.60023	0.2992	0.87097
4	4.86827	6.43178	0.03690	15.06300	0.3386	0.87419
5	6.30011	7.31521	0.03690	19.47308	0.4508	0.87419
6	7.33104	8.20941	0.03663	23.76861	0.5679	0.88065
7	9.27835	9.14671	0.03676	28.06415	0.6946	0.87742
8	-	-	-	-	-	-

علاقات وضعية لحساب عمق وطول النحر النسبي للبوابات المركبة :

علاقة وضعية لحساب العمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D₅₀) مؤخر البوابات المركبة:

لقد تم إدخال معظم البيانات المتضمنة عمق النحر مؤخر البوابات المركبة في البرنامج الإحصائي (SPSS-11.5) للحصول على علاقة وضعية لحساب العمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D₅₀) بدلالة المتغيرات اللابعدية (Fr₀) و (ΔH_t/P) و (q_u/q_d) وكما يأتي :

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 1.421 \frac{(Fr_0)^{0.751} \left(\frac{\Delta H_t}{P}\right)^{0.451} \left(\frac{q_u}{q_d}\right)^{0.517}}{\left(\frac{h_0}{\Delta H_t}\right)^{0.122}} \quad \text{-----(13)}$$

وبمعامل تحديد (R²) يساوي (0.8989). ولفحص دقة المعادلة أعلاه تم تعويض بعض قيم المتغيرات اللابعدية المتمثلة بكل من (Fr₀) و (ΔH_t/P) و (h₀/ΔH) و (q_u/q_d) في المعادلة أعلاه للحصول على قيم محسوبة لـ (D_s/D₅₀) ومقارنتها مع قيم (D_s/D₅₀) المقاسة من التجارب (حيث إن هذه القيم المقاسة لم تستخدم في استنباط المعادلة (13)) ، كما في الجدول (14) حيث بلغت نسبة الفرق بين القيم المحسوبة إلى القيم المقاسة بين (1.2%) و (36.81%) .

علاقة وضعية لحساب الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D₅₀) مؤخر البوابات المركبة:

لقد تم إدخال معظم البيانات المتعلقة بطول النحر مؤخر البوابات المركبة في البرنامج الإحصائي (SPSS-11.5) للحصول على علاقة وضعية لحساب الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D₅₀) بدلالة المتغيرات (Fr₀) و (ΔH_t/P) و (h₀/ΔH) و (q_u/q_d) وكما يأتي :

$$\frac{L_s}{D_{50}} = 3.1232 \frac{(Fr_0)^{0.899} \left(\frac{\Delta H_t}{P}\right)^{0.246} \left(\frac{q_u}{q_d}\right)^{0.621}}{\left(\frac{h_0}{\Delta H_t}\right)^{0.171}} \quad \text{----- (14)}$$

جدول (14): مقارنة بعض قيم (D_s/D_{50}) المقاسة مختبريا وأخرى محسوبة من المعادلة (13) للبوابات المركبة

P (cm)	h_0 (cm)	D_{50} (cm)	h' (cm)	D_s/D_{50} (Measured)	D_s/D_{50} (Calculated)	نسبة الاختلاف بينهما
15	3	1.4285	5	5.6003	5.668	1.2
	2	1.746	4	2.7491	3.802	27.69
	3	1.746	4	3.3219	3.629	8.465
	2	2.2075	7	11.761	9.084	36.81
20	3	1.4285	7	12.741	10.11	26.04
	1	1.746	2	1.8328	2.285	19.77
	2	1.746	4	4.3528	4.092	6.362
	3	1.746	6	7.4456	6.794	9.597
	2	2.2075	3	2.3103	2.355	1.914
	3	2.2075	4	3.3069	3.438	3.808
	1	1.4285	5	8.9604	7.049	9.24
	2	1.4285	7	14.771	11.4	12.39
30	1	1.746	5	6.3001	6.092	3.411
	2	1.746	7	9.8511	8.096	21.68
	1	2.2075	2	2.0838	1.876	11.09
	2	2.2075	4	3.8505	3.352	14.88

وبمعامل تحديد (R^2) يساوي (0.9212). ولفحص دقة المعادلة أعلاه تم تعويض بعض قيم المتغيرات اللابعدية المتمثلة بكل من (Fr_0) و $(\Delta H/P)$ و $(h_0/\Delta H)$ و (q_u/q_d) في المعادلة أعلاه للحصول على قيم محسوبة لـ (L_s/D_{50}) ومقارنتها مع قيم (L_s/D_{50}) المقاسة من التجارب (علما بأن هذه القيم المقاسة لم تستخدم في استنباط المعادلة (14)) ، كما في الجدول (15) حيث بلغت نسبة الفرق بين القيم المحسوبة إلى القيم المقاسة بين (0.884%) و (50.404%).

جدول (15): مقارنة بعض قيم (L_s/D_{50}) المقاسة مختبريا وأخرى محسوبة من المعادلة (14) للبوابات المركبة

P (cm)	h_0 (cm)	D_{50} (cm)	h' (cm)	L_s/D_{50} (Measured)	L_s/D_{50} (Calculated)	نسبة الاختلاف بينهما
15	3	1.4285	5	19.951	17.69805	12.72994
	2	1.746	4	12.14204	11.0253	10.12888
	3	1.746	4	13.68843	10.39327	31.70476
	2	2.2075	3	6.387316	30.82877	20.29775
	2	1.4285	7	37.17186	34.36942	12.22747
20	3	1.4285	7	38.57193	6.016622	50.40425
	2	1.746	4	14.20389	11.88	19.56143
	3	1.746	6	23.76861	21.44184	10.85158
	2	2.2075	4	9.286523	6.17484	6.375495
	3	2.2075	4	9.739524	9.642811	1.002958
	1	1.4285	5	25.9013	23.11044	1.55472
	2	1.4285	7	39.55198	40.03916	5.776739
	1	1.746	5	19.47308	19.30245	0.883964
30	2	1.746	7	29.49599	26.78246	10.13176
	1	2.2075	2	6.523216	4.769868	36.75884
	2	2.2075	4	12.23103	9.389359	30.26481

6. الاستنتاجات :-

- تم التوصل إلى مايلي :-
1. من التحليل ألبعدى للعوامل المؤثرة على عمق وطول حفرة النحر مؤخر الهدارات والبوابات المركبة وبوابات الكسح ومن تحليل النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب المختبرية تم التوصل إلى العلاقات الوضعية التالية :-
أ - للهدارات تم الحصول على علاقة لابعدية للعمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D_{50}) بمعامل تحديد (R^2) يساوي (0.9311) وعلاقة لابعدية اخرى لحساب الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) بمعامل تحديد (R^2) يساوي (0.9421) وكلتا العلاقتين بدلالة رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر (Fr_0) والسقوط النسبي للهدارات ($\Delta H_w/P$).
 - ب - للبوابات المركبة فقد تم الحصول على علاقة لابعدية للعمق النسبي لحفرة النحر (D_s/D_{50}) بمعامل تحديد (R^2) يساوي (0.8989) وعلاقة لابعدية اخرى لحساب الطول النسبي لحفرة النحر (L_s/D_{50}) بمعامل تحديد (R^2) يساوي (0.9212) وكلتا العلاقتين بدلالة كل من رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر (Fr_0) والسقوط النسبي للبوابات المركبة ($\Delta H_r/P$) و ارتفاع الفتحة النسبي ($h_0/\Delta H_r$) والتصريف النسبي (q_u/q_d).
 2. تم الحصول على العديد من العلاقات الخطية الطردية لكل من عمق وطول حفرة النحر النسبي (D_s/D_{50}) والتصريف النسبي (q_u/q_d) للبوابات المركبة.
 3. اتضح من التجارب التي أجريت هو أن عمق وطول حفرة النحر عندما يمر الجريان أعلى وأسفل البوابة المركبة اقل عنه فيما لو كان الجريان يمر أعلى الهدار فقط ولكن نسبة التقليل بالنسبة لكل من عمق وطول حفرة النحر تقل بزيادة ارتفاع الفتحة اسفل البوابة المركبة وذلك لان البوابة المركبة تعمل حينئذ كبوابة كسح أكثر مما لو كانت بوابة مركبة فيكون بذلك الجريان الأفقي أكثر قدرة على إزاحة مواد القعر وبالتالي زيادة النحر .
 4. بالنسبة لشكل حفرة النحر في مؤخر البوابات المركبة اتضح أنه كلما ازداد ارتفاع الفتحة السفلية فأن قمة الحصى المتكدس خلف حفرة النحر تكون مسطحة أكثر وذلك بسبب زيادة التصريف السفلي.
 5. يكون تأثير الجريان السفلي للبوابات المركبة ايجابيا في تقليل عمق النحر في البوابات ذات الارتفاع الواطئ (مساو وأقل من 20 سم) في حين ينعكس ذلك التأثير في البوابات ذات الارتفاع العالي (أكثر من 20 سم).
 6. استخدام الفتحات أسفل الهدارات كصمامات أمان لإمرار تصريف أعلى مع عدم خشية من الزيادة في عمق حفرة النحر في مؤخر تلك الهدارات وبالأخص في الهدارات الواطئة .
 7. من الممكن استخدام الحصى المكسر في فرش الأرضية في مؤخر الهدارات والبوابات المركبة بدلا عن الصبات الخرسانية الأمر الذي يقلل من الكلفة الاقتصادية لتبطين تلك الأرضيات.

7. المصادر العربية والأجنبية :-

1. الحافظ , إبراهيم عادل ، (2005) . " دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلية " . رسالة ماجستير ، قسم هندسة الموارد المائية ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل .
2. القطان ، احمد عبد الحميد احمد (2007) . " دراسة مختبرية للنحر مؤخر الهدارات والبوابات المركبة وبوابات الكسح " . رسالة ماجستير ، قسم هندسة الموارد المائية ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل .
3. Asai, K. , Mimura, Y. and Kawamoto, N. (2002) . " Experimental Study on Scour and Sedimentation of River Bed by Overflow from Weir " . J. Hyd. Res., IAHR, Vol. 15, No. 1, pp. 45- 50 .
4. British Standard Institution (1965) . " Method of Measurement of Liquid Flow in Open Channel " . BS3680 , part (A) , London , England.
5. Chen, Z. , Shao, X. and Zhang, J. (2005) . " Experimental Study on the Upstream Water Level Rise and Downstream Scour Length of a Submerged Dam " . J. Hyd. Res., IAHR, Vol. 43, No. 6, pp. 703-709.

6. **Chow, V. T. (1959)** . " Open Channel Hydraulics " . Mac Graw -Hill International Company , International Student Edition .
7. **Dargahi, B. (2003)** . " Scour Development Downstream of Spillway " . J. Hyd. Res., IAHR, Vol. 41, No. 4, pp. 417-426 .
8. **Simons, D. and Şentürk, F. (1992)** . " Sediment Transport Technology " .Water Resources Publications , Littleton, Colorado, U.S.A.
9. **Uyumaz, A. (1988)** . " Scour Downstream of Vertical Gate " . J . Hyd. Eng., ASCE, Vol. 114, No. 7, pp. 811- 816 .

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل