# النحر في الأرضيات الحصوية مؤخر الهدارات والبوابات المركبة

بهزاد محمد علي* موفق يونس محمد** احمد عبد الحميد احمد
*قسم هندسة المدنية/كلية الهندسة ــ جامعة دهوك
**قسم هندسة الموارد المائية/كلية الهندسة ــ جامعة الموصل

تاريخ الاستلام:٢٠٠٩/٤/٢٧، تاريخ القبول:٢٠١٠/١/٢٥

## 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 وكذلك دراسة تأثير ارتفاع الهدار وارتفاع الفتحة أسفل البوابة المركبة و تأثير تغير التصريف المار وقطر مواد القعر على عمق وطول حفرة النحر. أجريت مائتان وأربع وثلاثون تجربة في قناة مختبرية استخدمت فيها ثلاث أقطار من الحصى المكسر مابين١,٤٣ سم و٢,٢١ سم وثلاث ارتفاعات للمنشأ (١٥و٢٠ و٣٠) سم وثلاث ارتفاعات للفتحة أسفل المنشأ (١ و٢ و٣) سم . بينت النتائج المختبرية وجود علاقات خطية طردية جيدة بين كل من العمق النسبي (Ds/D50) و الطول النسبي للنحر (Ls/D50) مع رقم فرود (Fr0) بدلالة كثافة مواد القعر للهدارات والبوابات المركبة ، كما بينت النتائج بأن هناك علاقات طردية جيدة بين كل من (Ds/D50) و(Ls/D50) مع التصريف النسبي (qu/qd) لجميع حالات البوابة المركبة وجميع أقطار مواد القعر . تم استنباط علاقتين وضعيتين لحساب كل من (Ds/D50) و(Ls/D50) بدلالة كل من (Fr0) والسقوط النسبي لسطح الماء (ΔHw/P) بالنسبة للهدارات وبمعاملات تحديد عالية كما وتم استنباط علاقتين وضعيتين اخرتين لحساب كل من (Ds/D50) و(Ls/D50) بدلالة (Fr0) والسقوط النسبي لسطح الماء (ΔHt/P) والارتفاع النسبي للفتحة أسفل البوابة المركبة (h0/ΔHt) والتصريف النسبي (qu/qd) وبمعاملات تحديد عالية .

## 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 مناسبين قدر الإمكان يحبذ 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 وتركة معرضا مباشرة للجريان المار فوق حافة الهدار بكل طاقته الأمر الذي يودي بالتالي إلى تآكل ذلك القعر فيؤثر ذلك سلبا على استقرارية المنشأ وبالتالي فشله (نوري والحافظ ،٢٠٠٧) ، 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 يكوّن حفرة للنحر 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 بأنه إزاحة مواد القعر بفعل الطاقة المشتركة لهذين النوعين من الجريان مما يؤدي إلى تحريك جزيئاتها إلى أبعد مسافة مؤخر البوابة المركبة وتكوّن حفرة للنحر والتي تؤثر سلبا على استقرارها أيضا.

## عرض البحوث السابقة

**النحر مؤخر الهدارات:**

الباحث سكوكليتش (1932) Schoklitsh (مذكور في Dargahi, 2003) يعد من أوائل الباحثين الذين درسوا النحر على أرضية من الحصى بقطر $D_{90}$=(9-36)mm مختبريا مؤخر الهدارات العمودية ، وتمكن من استنتاج المعادلة التالية لحساب عمق النحر مؤخر الهدار :-

$$D_s = 4.75 \frac{\Delta H_w^{0.2} \; q_w^{0.57}}{D_{90}^{0.32}} - h_{2w} \qquad \ldots(1)$$

إذ أن : $D_s$ = عمق النحر مؤخر الهدار ، $\Delta H_w$ = الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر الهدار ، $q_w$ = التصريف لوحدة العرض المار فوق الهدار ، $D_{90}$ = حجم فتحة المنخل التي تمرر ٩٠% من مواد القعر و $h_{2w}$ = عمق الجريان مؤخر الهدار .

كما درس الباحث دارگاهي(Dargahi, 2003) النحر الحاصل مؤخر الهدارات العمودية واستنتج المعادلات التالية لحساب اقصى عمق واقصى طول لحفرة النحر :

$$\frac{D_s}{\Delta H_w} = \left(\frac{\Delta H_w}{D_{50}}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad \ldots(2)$$

$$\frac{L_s}{\Delta H_w} = 10\left(\frac{\Delta H_w}{D_{50}}\right)^{\frac{1}{12}} \qquad \ldots(3)$$

$$\frac{D_s}{\Delta H_w} = 1.7\left(\frac{\Delta H_w}{D_{50}}\right)^{\frac{1}{4.5}} \qquad \ldots(4)$$

$$\frac{L_s}{\Delta H_w} = 5\left(\frac{\Delta H_w}{D_{50}}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad \ldots(5)$$

إذ أن : $L_s$ = طول حفرة النحر مؤخر الهدار و $D_{50}$ = متوسط قطر مواد القعر .

حيث أن المعادلتين (٢) و (٣) تطبق لنسبة عمق الجريان (Y) الى عرض القناة (B) تساوي ٠,١٦٧ في حين أن المعادلتين (٤) و (٥) تطبق لقيمة Y/B= ٠,٥ .

ودرس الباحثون چين وآخرون (Chen, et al ,2005) مختبريا النحر مؤخر الهدارات وتأثير الاختلاف في مستوى الماء مقدم و مؤخر تلك الهدارات على طول حفرة النحر واستنتجوا المعادلة التالية :

$$L_s = K\left(Fr_2 - Fr_c\right)\left(\frac{D_{50}}{\Delta H_w}\right)^{-\frac{1}{3}} \qquad \ldots(6)$$

إذ أن : K = ثابت وضعي تتراوح قيمته بين ٠,٤ و ٠,٦ ، $Fr_2$ = رقم فرود مؤخر الهدار و $Fr_c$ = رقم فرود الحرج والذي تبدأ عنده مواد القعر بالحركة .

و درس الباحثان نوري و الحافظ (٢٠٠٧) النحر في الأرضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلثية واستنتجوا المعادلات التالية :

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 0.6255 \times \frac{\left(Fr_0\right)^{1.144}\left(\frac{\Delta H_w}{P}\right)^{0.296}}{\left(\frac{T_w}{P}\right)^{0.716187}} \qquad \ldots(7)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = 4.0268 \times \frac{\left(Fr_0\right)^{0.9825}}{\left(\frac{T_w}{P}\right)^{0.3401}\left(\frac{\Delta H_w}{P}\right)^{0.3666}} \qquad \ldots(8)$$

إذ أن : $D_s/D_{50}$ = نسبة عمق حفرة النحر إلى متوسط قطر مواد القعر (العمق النسبي لحفرة النحر) ، $L_s/D_{50}$ = نسبة طول حفرة النحر إلى متوسط قطر مواد القعر (الطول النسبي لحفرة

النحر) ، $\Delta H_w$ = السقوط النسبي لمنسوب سطح الماء مقدم ومؤخر الهدار ، $T_w/P$= نسبة عمق الماء ألذيلي إلى ارتفاع الهدار ، P = ارتفاع الهدار ، $Fr_0$ = رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر ويساوي $\left(q_w \Big/ \sqrt{g D_{50}^{3}\left(\frac{\rho_s-\rho_w}{\rho_w}\right)}\right)$ ، g = التعجيل ألجاذبي ، $\rho_s$ = الكثافة الكتلية لمواد القعر و $\rho_w$ = الكثافة الكتلية للماء .

**النحر مؤخر البوابات المركبة**

قدم الباحث ايكنبركر(Eggenberger,1943) (مذكور في Dargahi,2003) المعادلة التالية لحساب عمق النحر مؤخر البوابات المركبة :-

$$D_s = C\left(\frac{\Delta H_t^{0.2}\, q_t^{0.6}}{D_{90}^{0.4}}\right) - h_{2t} \qquad \ldots(9)$$

إذ أن : $\Delta H_t$ = الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر البوابة المركبة ، $h_{2t}$ = عمق الجريان مؤخر البوابة المركبة ، $q_t$ = التصريف الكلي لوحدة العرض المار أعلى وأسفل البوابة المركبة ، C = ثابت المعادلة ، وتعتمد قيمته على النسبة بين التصريف المار فوق البوابة إلى التصريف المار تحتها وكما جاء في (Simons and Şentürk,1992) أن قيمته القصوى مساوية لـ٢٢,٨ إذا لم يكن هناك جريان أسفل البوابة وقيمته الدنيا ٧,٢٥ ويحسب من المعادلة التالية :

$$C = 22.8 - \frac{1}{0.049\left(\frac{q_u}{q_d}\right)^3 - 0.0063\left(\frac{q_u}{q_d}\right)^2 - 0.029\left(\frac{q_u}{q_d}\right) + 0.064} \qquad \ldots(10)$$

إذ أن: $q_u$ = التصريف لوحدة العرض المار أعلى البوابة المركبة ، $q_d$ = التصريف لوحدة العرض المار أسفل البوابة المركبة و $q_u/q_d$ = نسبة التصريف المار أعلى البوابة المركبة إلى التصريف المار أسفلها (التصريف النسبي).

كما درس الباحث ايماز(Uyumaz,1988) النحر مؤخر البوابات العمودية وتوصل إلى أن عمق النحر يعتمد بشكل مباشر على كمية التصريف المار اعلى واسفل البوابة المركبة والتصريف الكلي :

$$D_s = w\,\frac{\Delta H_t^{0.5}\, q_t^{0.6}}{D_{90}^{0.4}} \qquad \ldots(11)$$

إذ أن : w = ثابت المعادلة وتعتمد قيمته على النسبة بين التصريف المار أعلى واسفل البوابة ، ويحسب كالآتي :

$$w = A\left(\frac{q_u}{q_d}\right)^2 + B\left(\frac{q_u}{q_d}\right) + C \qquad \ldots(12)$$

$$w = E\left(\frac{q_u}{q_d}\right) + F \qquad \ldots(13)$$

حيث تستخدم المعادلة (١٢) عندما تكـــون ($q_u/q_d \leq 2$) وتســـتخدم المعادلـــة (١٣) للحالـــة ($q_u/q_d$ >٢) وأعطى الباحث قيماً للثوابت A وB وC وE وF اعتماداً على نوعية مادة القعر المستخدمة .

## ألعمل ألمختبري

تم تصنيع ثلاثة نماذج للهدارات من ألواح خشبية بسمك (١٥ ملم) و بعرض (٨١ سم) أي بعرض مقطع القناة الخرسانية ، وبارتفاعات (١٥ و٢٠ و٣٠ سم) على التوالي ، إذ كانت الهدارات المستخدمة ذات حافة حادة (Sharp Crested Weir) بعرض قمة تساوي (٢ ملم) وتنحدر حوافهم بزاوية (٦٠° ) 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 ، إن القناة التي أجريت فيها التجارب مشيدة من الخرسانة بطول (٢٤,٦٤ م) و بعرض (٠,٨١ م) و بعمق (٠,٧٦ 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 افقية (٢,٢٥ م × ١,٢٥ م) وبعمق (١,٢ م) ، ويكون الجريان فيها من النوع كامل الدوران أي يجهز بواسطة مضخة ومن ثم يعود الى الخزان والشكل (1) يوضح مسقط رأسي ومقطع طولي للقناة المختبرية ، تم رفع منسوب أرضية القناة بمقدار (٣٠ سم) من بداية القناة بطول (٣,٤٤ م) يليه حوض تهدئة بأبعاد (٣ م × ٠,٨١ م) وبعمق (٠,٣ م) ، من ثم بوابة التحكم بعمق الماء نهاية حوض التهدئة بعدها يثبت نموذج الهدار على بعد ( ٧,٥ م) مؤخر بوابة التحكم وذلك لضمان الحصول على جريان هادئ ومنتظم عند الهدار المستخدم في التجارب ، ثم يفرش الحصى المكسر ويتم التأكد من استوائيته أي أن يكون سطح نموذج الحصى المكسر موازيا لقعر القناة ، يمرر بعدها الجريان في القناة وضمن العمق المطلوب ، وبعد فترة زمنية قد تصل إلى ساعتين لكي 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 بطول ضلع (٠,٩ سم) و بأبعاد (٠,٣ م × ٠,٨ م) موضوعة داخل إطار من الألمنيوم مثبت على جدران القناة ثم يسوى سطح الحصى المكسر ثانية ويصفر مقياس العمق الثاني عليه ، تعاد الخطوات السابقة لستة تصاريف أخرى مختلفة ويرفع بعد ذلك الهدار عن الصبة الخرسانية لارتفاع (١ سم) وحينها يصبح عمل الهدار مركبا وذلك لان الجريان

سيمر فوق الهدار ومن أسفله أيضا ، تكرر العملية لارتفاعين آخرين للفتحة أسفل الهدار ، يستبدل الحجم الأول للحصى المكسر بالحجم الثاني، ومن ثم بالحجم الثالث . برنامج التجارب العملية موضح في الجدول (١).

**جدول (١) : برنامج التجارب العملية**

**أ) الهدارات**

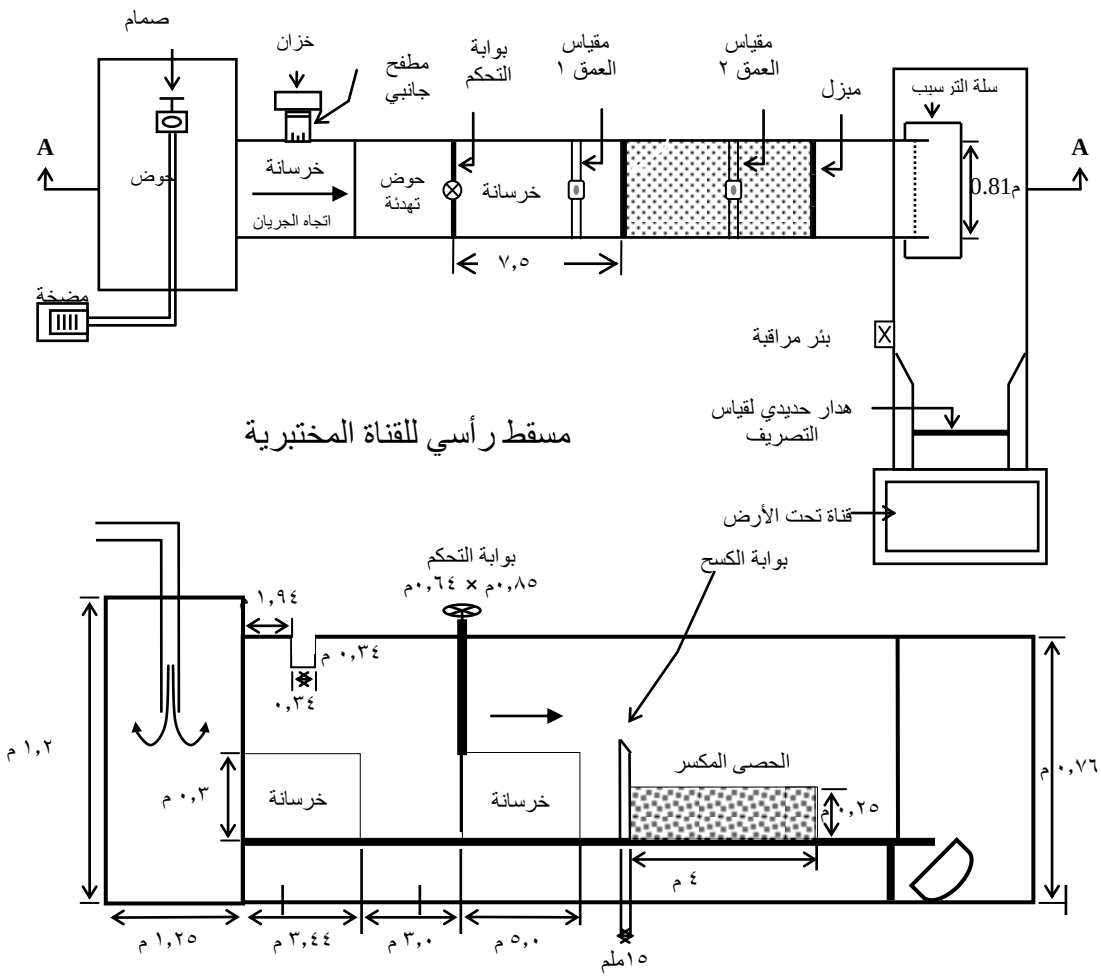
| رقم التجربة | معدل قطر مواد القعر ($D_{50}$) (سم) | ارتفاع الهدار (P) (سم) | مدى التغير بارتفاع الماء فوق حافة المنشأ (h) (سم) |
|---|---|---|---|
| ١–٢١ | ١,٤٣ | ١٥ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| ٢٢–42 | | ٢٠ | |
| ٤٣–٦٣ | | ٣٠ | |
| ١–٢١ | ١,٧٥ | ١٥ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| ٢٢–42 | | ٢٠ | |
| ٤٣–٦٣ | | ٣٠ | |
| ١–٢١ | ٢,٢١ | ١٥ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| ٢٢–42 | | ٢٠ | |
| ٤٣–٦٣ | | ٣٠ | |

**ب) البوابات المركبة**

| رقم التجربة | معدل قطر مواد القعر ($D_{50}$) (سم) | ارتفاع البوابة -P ($h_0$) (سم) | ارتفاع الفتحة السفلية ($h_0$) (سم) | مدى التغير بارتفاع الماء فوق حافة المنشأ (h) (سم) |
|---|---|---|---|---|
| ٦٤–٨٤ | ١,٤٣ | ١٥ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | |
| ٨٥–١٠٤ | | ٢٠ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧ |
| ١٠٥–١٢٠ | | ٣٠ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥ |

## ب) البوابات المركبة (تابع)

| رقم التجربة | معدل قطر مواد القعر ($D_{50}$) (سم) | ارتفاع البوابة -P ($h_0$) (سم) | ارتفاع الفتحة السفلية ($h_0$) (سم) | مدى التغير بارتفاع الماء فوق حافة المنشأ (h) (سم) |
|---|---|---|---|---|
| ١٢١–١٤١ | ١,٧٥ | ١٥ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | |
| ١٤٢–١٦١ | | ٢٠ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧ |
| ١٦٢–١٧٧ | | ٣٠ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥ |
| ١٧٨–١٩٨ | ٢,٢١ | ١٥ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧،٨ |
| ١٩٩–٢١٨ | | ٢٠ | ١ | |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧ |
| ٢١٩–٢٣٤ | | ٣٠ | ١ | ٢،٣،٤،٥،٦،٧ |
| | | | ٢ | |
| | | | ٣ | ٢،٣،٤،٥ |




**الشكل (1) : يوضح مقطع القناة المختبرية**

## تحليل ومناقشة النتائج

**التحليل ألبعدي:**

إن العوامل المؤثرة على عمق حفرة النحر ($D_s$) وطولها ($L_s$) مؤخر الهدارات (لاحظ الشكل (٢)) يمكن ذكرها في علاقة عامة وكما يلي ( القطان ، ٢٠٠٧) :

$$D_s, L_s = f(q_w, D_{50}, P, \Delta H_w, g, \rho_s, \rho_w, \mu) \quad \ldots(14)$$

اذ أن : $q_w$ = التصريف لوحدة العرض المار فوق حافة الهدار ، $D_{50}$ = متوسط قطر مواد القعر ، P = ارتفاع الهدار ، $\Delta H_w$ = الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر الهدار ، g = التعجيل ألجاذبي ، $\rho_s$ = الكثافة الكتلية لمواد القعر ، $\rho_w$ = الكثافة الكتلية للماء و $\mu$ = اللزوجة التحريكية للماء .

وباستخدام التحليل ألبعدي يمكن صياغة العلاقة (١٤) على النحو التالي :

$$\frac{D_s}{D_{50}}, \frac{L_s}{D_{50}} = f(\frac{\Delta H_w}{P}, Fr_0, \mathrm{Re}) \qquad \ldots(15)$$

اذ أن : $D_s/D_{50}$= العمق النسبي لحفرة النحر ، $L_s/D_{50}$ = الطول النسبي لحفرة النحر ، $\Delta H_w/P$ = السقوط النسبي لمنسوب الماء مقدم ومؤخر الهدار ، $Fr_o$ = رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر ويساوي $\left(q_w \Big/ \sqrt{g\frac{\Delta\rho}{\rho_w}D_{50}^{\ 3}}\right)$ ، Re = رقم رينولدز للجريان ويساوي $(q_w \rho_w/\mu)$ و $\Delta\rho$ = الفرق بين الكثافة الكتلية لمواد القعر والكثافة الكتلية للماء وتساوي $(\rho_s-\rho_w)$.

اما بالنسبة للبوابات المركبة فيمكن استبدال ($q_w$) بالتصريف الكلي لوحدة العرض المار في القناة ($q_t$) واضافة التصريف لوحدة العرض المار أعلى البوابة المركبة ($q_u$) والتصريف لوحدة العرض المار أسفل البوابة المركبة ($q_d$) حيث أن ($q_t=q_u+q_d$) واضافة ارتفاع الفتحة السفلية للبوابة المركبة ($h_0$) ولذا يمكن كتابة العلاقة العامة للعوامل المؤثرة على عمق وطول حفرة النحر مؤخر البوابات المركبة (لاحظ الشكل (٣)) كما يلي :

$$D_s, L_s = f(q_t, q_u, q_d, D_{50}, P, \Delta H_t, h_0, \rho_s, \rho_w, \mu) \qquad \ldots(16)$$

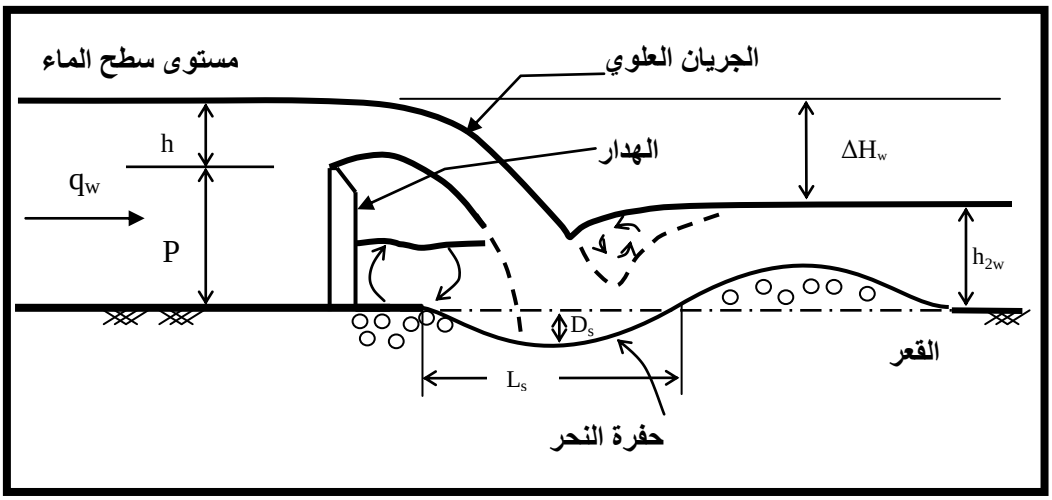
اذ أن : $\Delta H_t$ = الفرق بين منسوب الماء مقدم ومؤخر البوابة المركبة.

ويمكن استخدام طريقة التحليل ألبعدي لصياغة العلاقة (١٦) على النحو التالي :

$$\frac{D_s}{D_{50}}, \frac{L_s}{D_{50}} = f(\frac{\Delta H_t}{P}, \frac{h_0}{\Delta H_t}, \frac{q_u}{q_d}, Fr_0, \mathrm{Re}) \qquad \ldots(17)$$

اذ أن : $\Delta H_t/P$ = السقوط النسبي لمنسوب الماء مقدم ومؤخر البوابة المركبة ، $h_0/\Delta H_t$ = الارتفاع النسبي لفتحة البوابة المركبة ، $q_u/q_d$ = نسبة التصريف المار أعلى البوابة المركبة الى التصريف المار أسفلها (التصريف النسبي) ، $Fr_o$ = رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر ويساوي $\left(q_t \Big/ \sqrt{g\frac{\Delta\rho}{\rho_w}D_{50}^{\ 3}}\right)$ و Re = رقم رينولدز للجريان ويساوي $(q_t \rho_w/\mu)$.

عندما تكون قيم ارقام رينولدز (Re) عالية يصل الجريان الى الاضطراب الكامل عندها يضمحل تأثير رقم رينولدز في القنوات المفتوحة وبذلك يمكن اهماله (Chow,1959) ونتيجة لذلك يمكن إسقاط تأثيره من العلاقات (١٥) و(١٧) .

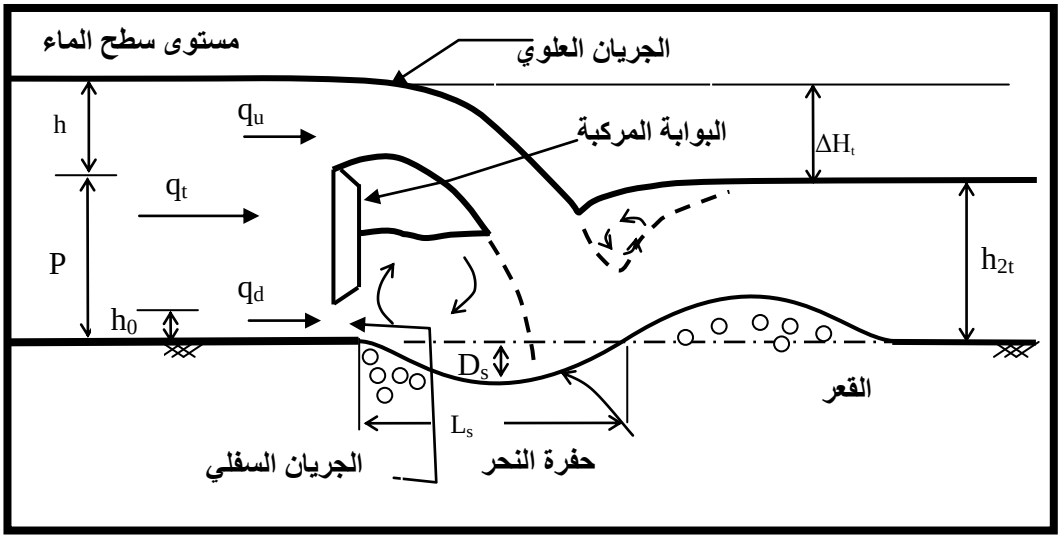



**الشكل (٢): مخطط توضيحي للنحر مؤخر الهدارات**

## العلاقة بين خصائص حفرة النحر مؤخر الهدارات والمتغيرات المؤثرة عليها

**العلاقة بين العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر مع رقم فرود($Fr_0$) للهدارات:**

يعتبر رقم فرود ($Fr_0$) عاملاً مهماً ومؤثراً على خصائص النحر ومن تحليل البيانات المختبرية اتضح بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات التي تربط ($D_s/D_{50}$) و ($L_s/D_{50}$) مع ($Fr_0$) وكما يلي :




**الشكل (3): مخطط توضيحي للنحر مؤخر البوابات المركبة**

$$\frac{D_s}{D_{50}} = a_1 + b_1 \times Fr_0 \qquad ....(18)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = a_2 + b_2 \times Fr_0 \qquad ...(١٩)$$

ولقد تم الحصول على قيم المعاملات ($b_1$ , $a_1$) و ($b_2$ , $a_2$) للمعادلتين (١٨) و (١٩) بثبوت قيم قطر الحصى وبثبوت ارتفاع الهدار وكما موضح في الجدولين (٢) و(٣) والاشكال من (٤) الى (٩) ومن هذه الاشكال والجداول يتضح بأن العلاقة طردية وان العمق النسبي والطول النسبي يزدادان بزيادة قيمة ($Fr_0$) وهذا متوقع حيث أن زيادة قيمة ($Fr_0$) ينتج من زيادة التصريف والذي بدوره يزيد عملية النحر وان الاقطار الصغيرة للحصى تعطي قيمة أكبر للنحر وان النحر يزداد بزيادة ارتفاع الهدار عند ثبوت قطر الحصى المستخدم وزيادة الارتفاع يعني زيادة ارتفاع سقوط الماء عمودياً واصطدامه مع الطبقة الحصوية للقعر مما يؤدي الى زيادة النحر وان معامل التحديد ($R^2$) ولكل الحالات قد تراوح بين (٠,٩٧١٣) و (٠,٩٩١١) بالنسبة للعمق النسبي للنحر وبين (٠,٩١٩٩) و (٠,٩٩٤٧) بالنسبة للطول النسبي للنحر مما يدل على وجود علاقات طردية جيدة .

**علاقات وضعية لحساب العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر مؤخر الهدارات:**

لقد تم ادخال البيانات المتضمنة عمق وطول النحر مؤخر الهدارات في البرنامج الاحصائي (SPSS-11.5) للحصول على علاقتين وضعيتين الاولى لحساب العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والثانية لحساب الطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر بدلالة المتغيرات اللابعدية ($Fr_0$) و ($\Delta H_w/P$) وكما يلي :

$$\frac{D_s}{D50} = 0.971 \ (Fr_0)^{0.989} \ (\frac{\Delta Hw}{P})^{0.291} \qquad ...(20)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = 4.114 \ (Fr_0)^{0.825} \ (\frac{\Delta H_w}{P})^{0.326} \qquad ...(21)$$

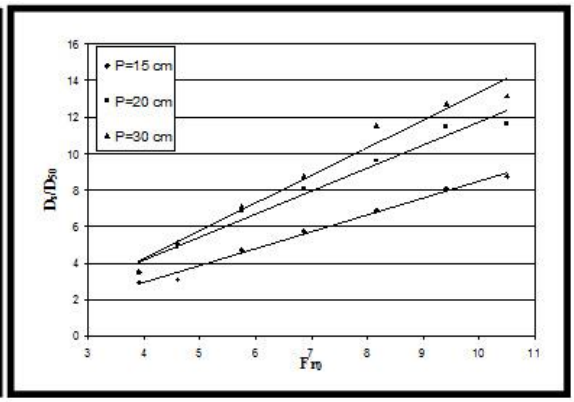
حيث تم الحصول على المعادلة (٢٠) بمعامل تحديد ($R^2$) تساوي (٠,٩٣١١) وتم الحصول على المعادلة (٢١) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٩٤٢١) .

جدول (2) : قيم المعاملات $a_1$ و $b_1$ ومعاملات التحديد للمعادلة (18)

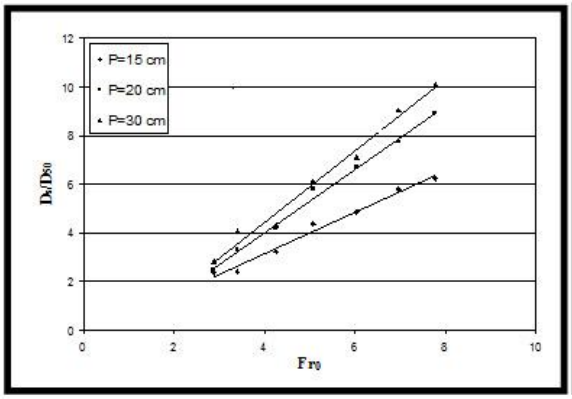
| الحالة | النموذج (A) ($D_{50}$ = 1.43 cm) | | | النموذج (B) ($D_{50}$ = 1.75cm) | | | النموذج (C) ($D_{50}$ = 2.21cm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P (cm) | $a_1$ | $b_1$ | $R^2$ | $a_1$ | $b_1$ | $R^2$ | $a_1$ | $b_1$ | $R^2$ |
| 15 | -0.7936 | 0.9281 | 0.9911 | -0.2722 | 0.8545 | 0.9858 | -0.6265 | 0.8822 | 0.9846 |
| 20 | -0.9219 | 1.2665 | 0.9744 | -1.1771 | 1.3006 | 0.9941 | -1.3128 | 1.1547 | 0.9858 |
| 30 | -1.804 | 1.5158 | 0.9729 | -1.4152 | 1.4675 | 0.9837 | -1.257 | 1.2933 | 0.9713 |

جدول (3) : قيم المعاملات $a_2$ و $b_2$ ومعاملات التحديد للمعادلة (19)

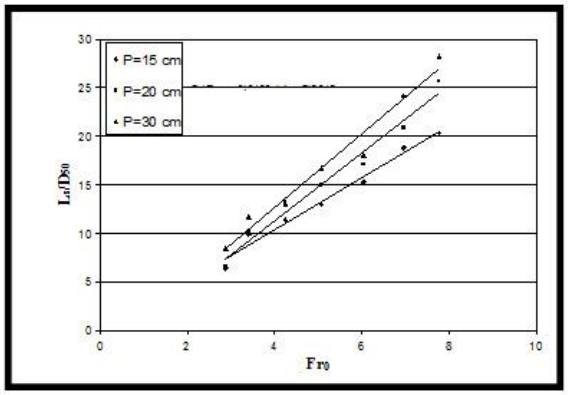
| الحالة | النموذج (A) ($D_{50}$ = 1.43 cm) | | | النموذج (B) ($D_{50}$ = 1.75cm) | | | النموذج (C) ($D_{50}$ = 2.21cm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P (cm) | $a_1$ | $b_1$ | $R^2$ | $a_1$ | $b_1$ | $R^2$ | $a_1$ | $b_1$ | $R^2$ |
| 15 | -0.4408 | 2.5924 | 0.9947 | -0.3374 | 2.6759 | 0.9801 | -0.7005 | 2.8373 | 0.9943 |
| 20 | -5.3826 | 3.8617 | 0.9636 | -2.8048 | 3.5105 | 0.9753 | -3.3378 | 3.7544 | 0.9199 |
| 30 | -5.7107 | 4.4476 | 0.9715 | -2.4703 | 3.7781 | 0.9696 | -1.1376 | 3.6749 | 0.9734 |



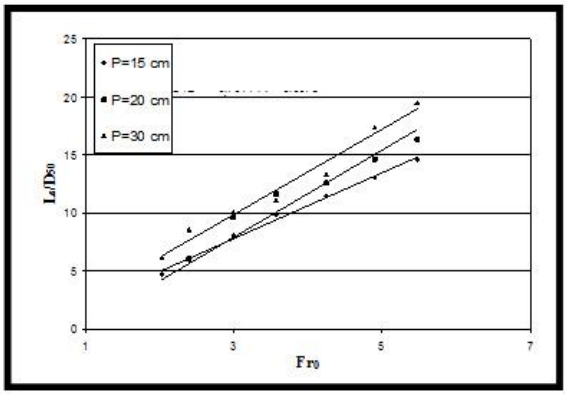

شكل (4) : العلاقة بين ($D_s/D_{50}$) و ($Fr_0$) للنموذج (A) ولجميع ارتفاعات الهدار




شكل (5) : العلاقة بين ($D_s/D_{50}$) و ($Fr_0$) للنموذج (B) ولجميع ارتفاعات الهدار




شكل (8) : العلاقة بين ($L_s/D_{50}$) و ($Fr_0$) للنموذج (B) ولجميع ارتفاعات الهدار




شكل (9) : العلاقة بين ($L_s/D_{50}$) و ($Fr_0$) للنموذج (C) ولجميع ارتفاعات الهدار

## العلاقة بين خصائص حفرةالنحر مؤخر البوابات المركبة والمتغيرات المؤثرة عليها

**علاقة العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر مع رقم فرود($Fr_0$) للبوابات المركبة :**

تم معالجة البيانات المستقاة من التجارب المختبرية بواسطة الحاسوب واتضح بأن أفضل علاقة تربط العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والطول النسبي ($L_s/D_{50}$) مع رقم فرود للبوابات المركبة هي العلاقة الخطية وبالشكل التالي :

$$\frac{D_s}{D_{50}} = a_3 + b_3 \times Fr_0 \qquad ...(22)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = a_4 + b_4 \times Fr_0 \qquad ...(23)$$

وتم الحصول على قيم المعاملات ($a_3$ و $b_3$) و ($a_4$ و$b_4$) للمعادلتين (٢٢) و (٢٣) وبثبوت قطر الحصى المستخدم وبثبوت ارتفاع الفتحة أسفل البوابة المركبة لكل حالة مدروسة وكما موضح في الجداول من (٤) إلى (٩) . والأشكال من (١٠) إلى (١٥) توضح العلاقات لقطر الحصى ($D_{50}$ = ١,٤٣ سم) والأشكال للأقطار الأخرى هي بنفس النمط . ومن هذه الجداول والأشكال يتضح بان العلاقات طردية وان قيم العمق والطول النسبيين للنحر تزداد بزيادة قيمة ($Fr_0$) ولكل الفتحات أسفل البوابة المركبة ولاية قيمة من قيم ($Fr_0$) فان قيم العمق والطول تزداد بزيادة ارتفاع البوابة وتقل بزيادة قطر مواد القعر حيث أن البوابة الأعلى تزيد من ارتفاع سقوط الماء الذي يصطدم بالحصى ويرفعه الى الاعلى ومن ثم التصريف المار تحت البوابة المركبة يزيح الحصى بعيداً وكما اتصح بان معامل التحديد ($R^2$) للعلاقات المستنتجة قد تراوح بين (٠,٩٠٧٦) و (٠,٩٩٨٨) بالنسبة لعلاقات العمق النسبي وبين (٠,٨٩٤٤) و (٠,٩٩٨٥) بالنسبة للطول النسبي مما يدل كذلك على علاقات طردية جيدة .

## علاقة العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر مع التصريف النسبي($q_u/q_d$) للبوابات المركبة

نظراً لاهمية ما يتسبب به التغيير في نسبة التصريف المار فوق البوابة الى التصريف المار تحتها ($q_u/q_d$) على العمق والطول النسبيين مؤخر البوابات المركبة فقد تم تحليل البيانات المختبرية ووجد بان العلاقة التي تربط بين المتغيرات هي علاقة خطية وكما موضحة في أدناه:

$$\frac{D_s}{D_{50}} = a_5 + b_5 \times \frac{q_u}{q_d} \qquad ...(24)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = a_6 + b_6 \times \frac{q_u}{q_d} \qquad \ldots(25)$$

جدول (4) : قيم المعاملات $a_3$ و $b_3$ ومعامل التحديد للمعادلة (22) وللنموذج (A) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة ($D_{50}$=1.43 cm)

| الحالة $D_{50}$=1.43 (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 1 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 2 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 3 cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P - h_0$ (cm) | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ |
| 15 | -2.0927 | 0.7488 | 0.9866 | -2.924 | 0.6965 | 0.9949 | -1.6741 | 0.6167 | 0.9659 |
| 20 | -5.2896 | 1.4076 | 0.972 | −1.9567 | 1.0957 | 0.9822 | -0.3691 | 0.9464 | 0.9076 |
| 30 | -6.162 | 1.7568 | 0.986 | -1.1723 | 1.2431 | 0.9598 | 2.0291 | 1.1374 | 0.9974 |

جدول (5) : قيم المعاملات $a_3$ و $b_3$ ومعامل التحديد للمعادلة (22) وللنموذج (B) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة ($D_{50}$=1.75 cm)

| الحالة $D_{50}$=1.75 (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 1cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 2cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 3cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P - h_0$ (cm) | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ |
| 15 | -2.4040 | 0.8189 | 0.9882 | -3.275 | 0.8282 | 0.9696 | -2.5827 | 0.7444 | 0.9523 |
| 20 | -3.1222 | 1.0511 | 0.987 | -5.3727 | 1.4626 | 0.9871 | 0.2542 | 0.7164 | 0.9833 |
| 30 | -2.6035 | 1.3726 | 0.9531 | 1.9821 | 0.8154 | 0.9496 | -1.2891 | 1.3652 | 0.9988 |

جدول (6) : قيم المعاملات $a_3$ و $b_3$ ومعامل التحديد للمعادلة (22) وللنموذج (C) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة ($D_{50}$=2.21cm)

| الحالة $D_{50}$=2.21 (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 1 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 2 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 3 cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P - h_0$ (cm) | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ | $a_3$ | $b_3$ | $R^2$ |
| 15 | -1.5946 | 0.7482 | 0.9472 | -2.2783 | 0.7332 | 0.9456 | -2.9198 | 0.8771 | 0.9835 |
| 20 | -2.5227 | 1.0223 | 0.9848 | -0.7598 | 0.6883 | 0.9447 | -2.4828 | 0.9649 | 0.9303 |
| 30 | -2.1563 | 1.1947 | 0.9193 | -1.0063 | 1.0542 | 0.964 | 0.1273 | 1.0619 | 0.9664 |

جدول (7) : قيم المعاملات $a_4$ و $b_4$ ومعامل التحديد للمعادلة (23) وللنموذج (A) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة ($D_{50}$=1.43 cm)

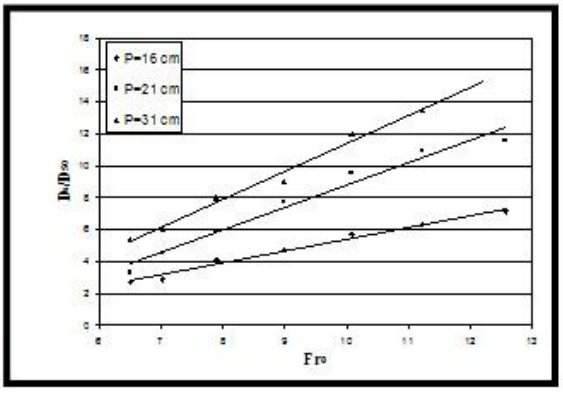
| الحالة $D_{50}$=1.43 (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 1 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 2 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 3 cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P - h_0$ (cm) | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ |
| 15 | -6.3194 | 2.7597 | 0.9861 | -9.97 | 2.8747 | 0.9851 | -22.553 | 3.4771 | 0.9849 |
| 20 | -15.344 | 4.2626 | 0.9985 | -15.875 | 4.2636 | 0.9873 | -12.283 | 3.5969 | 0.9768 |
| 30 | -14.15 | 4.6275 | 0.9871 | -5.6788 | 3.6854 | 0.9745 | 2.891 | 3.2987 | 0.9633 |

جدول (8) : قيم المعاملات $a_3$ و $b_3$ ومعامل التحديد للمعادلة (23) وللنموذج (B) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة ($D_{50}$=1.75 cm)

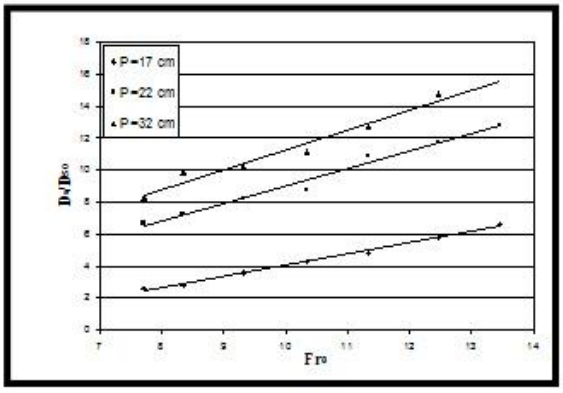
| الحالة $D_{50}$=1.75 (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 1 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 2 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 3 cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P - h_0$ (cm) | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ |
| 15 | -7.7237 | 3.174 | 0.9891 | -9.1376 | 3.037 | 0.9772 | -15.976 | 3.4364 | 0.9833 |
| 20 | -9.1734 | 3.7608 | 0.9895 | -9.1938 | 3.357 | 0.9311 | -13.592 | 3.7702 | 0.9733 |
| 30 | -15.103 | 5.2034 | 0.9971 | -10.355 | 4.3292 | 0.9734 | 1.749 | 2.881 | 0.989 |

جدول (9) : قيم المعاملات $a_3$ و $b_3$ ومعامل التحديد للمعادلة (23) وللنموذج (C) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة ($D_{50}$=2.21cm)

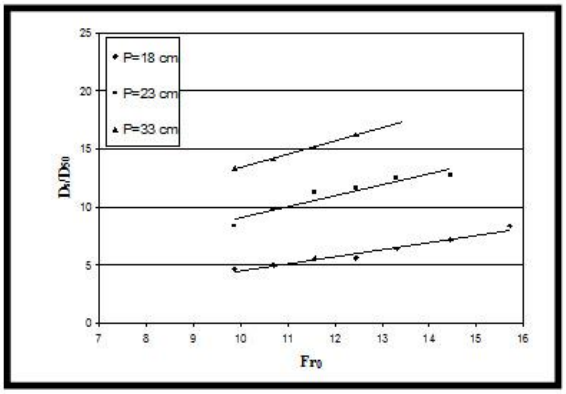
| الحالة $D_{50}$=2.21 (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 1 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 2 cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0$ = 3 cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P - h_0$ (cm) | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ | $a_4$ | $b_4$ | $R^2$ |
| 15 | -5.2824 | 3.232 | 0.982 | -8.1715 | 3.4493 | 0.99 | -10.941 | 3.3639 | 0.9728 |
| 20 | -11.681 | 4.6185 | 0.9894 | -9.2087 | 3.6618 | 0.9883 | -10.648 | 3.6863 | 0.8944 |
| 30 | -10.264 | 4.8242 | 0.9937 | -6.0391 | 3.8596 | 0.9444 | -4.6105 | 3.6911 | 0.986 |



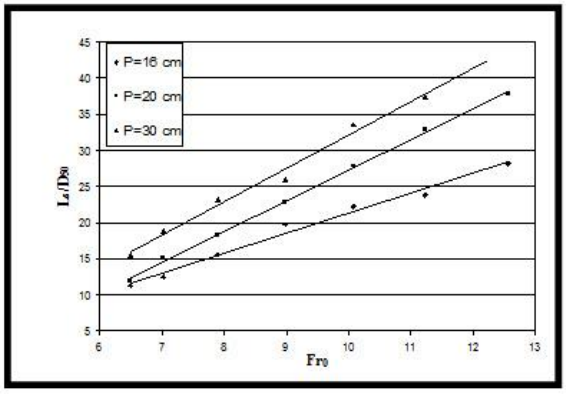

شكل (10) : العلاقة بين $(D_s/D_{50})$ و $(Fr_0)$ للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها $(h_0=1cm)$



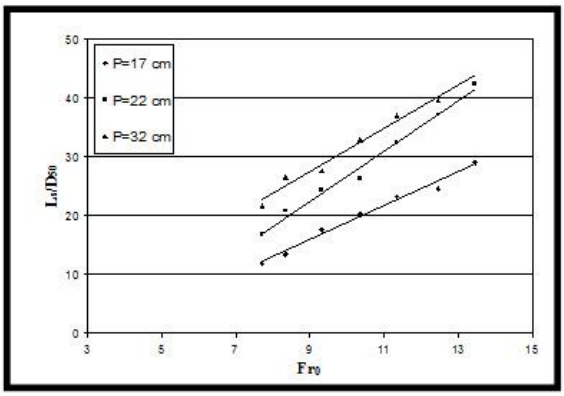

شكل (11) : العلاقة بين $(D_s/D_{50})$ و $(Fr_0)$ للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها $(h_0=2cm)$



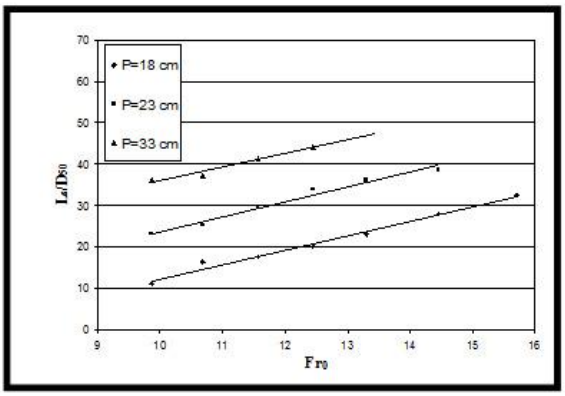

شكل (12) : العلاقة بين $(D_s/D_{50})$ و $(Fr_0)$ للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها $(h_0=3cm)$




شكل (13) : العلاقة بين $(L_s/D_{50})$ و $(Fr_0)$ للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها $(h_0=1cm)$




شكل (14) : العلاقة بين $(L_s/D_{50})$ و $(Fr_0)$ للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها $(h_0=2cm)$




شكل (15) : العلاقة بين $(L_s/D_{50})$ و $(Fr_0)$ للنموذج (A) وللبوابة المركبة بفتحة ارتفاعها $(h_0=3cm)$

وبإدخال البيانات التي تم الحصول عليها من التجارب المختبرية في البرنامج الجاهز (Excel) تم الحصول على قيم المعاملات ($b_5$ و $a_5$) و ($b_6$ و $a_6$) للمعادلتين (٢٤) و(٢٥) بثبوت قطر الحصى المستخدم وبثبوت ارتفاع الفتحة أسفل البوابة لكل حالة مدروسة وكما موضح في الجداول من (١٠) الى (١٥) ، والأشكال من (١٦) الى (٢١) توضح العلاقات للأقطار المختلفة المستخدمة ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة السفلية وارتفاع البوابة المركبة ($P-h_0 = 15$ cm) أما الأشكال للارتفاعات الأخرى للبوابة المركبة هي بنفس النمط . ومن هذه الأشكال والجداول يتضح بان قيم العمق والطول النسبيين تزداد 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 ازاحة الحصى بعيداً وبذلك تكون عملية النحر اسهل وكما يتضح بان معامل التحديد ($R^2$) ولكل الحالات المدروسة قد تراوح (٠,٨٩٣٠) و (٠,٩٩٧٤) بالنسبة للعمق النسبي وبين (٠,٨٩١٧) و (٠,٩٩٦٤) بالنسبة للطول النسبي مما يدل على علاقات طردية جيدة .

## علاقات وضعية لحساب العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر مؤخر البوابات المركبة

لقد تم إدخال البيانات المختبرية المتعلقة بعمق وطول النحر مؤخر البوابات المركبة في البرنامج الإحصائي (SPSS-11.5) للحصول على علاقتين وضعيتين إحداهما لحساب العمق النسبي ($D_s/D_{50}$) والأخرى لحساب الطول النسبي ($L_s/D_{50}$) لحفرة النحر بدلالة المتغيرات اللابعدية ($Fr_0$) و($h_0/\Delta H_t$) و($q_u/q_d$) وكما يأتي :

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 1.421 \frac{(Fr_0)^{0.751} \left(\frac{\Delta H_t}{P}\right)^{0.451} \left(\frac{q_u}{q_d}\right)^{0.517}}{\left(\frac{h_0}{\Delta H_t}\right)^{0.122}} \qquad \ldots(26)$$

$$\frac{L_s}{D_{50}} = 3.1232 \frac{(Fr_0)^{0.899} \left(\frac{\Delta H_t}{P}\right)^{0.246} \left(\frac{q_u}{q_d}\right)^{0.621}}{\left(\frac{h_0}{\Delta H_t}\right)^{0.171}} \qquad \ldots(27)$$

ولقد تم الحصول على المعادلة (٢٦) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٨٩٨٩) وتم الحصول على المعادلة (٢٧) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٩٢١٢) .

جدول (10) : قيم المعاملات $a_5$ و $b_5$ ومعامل التحديد للمعادلة (24) ولحالة ( $P-h_0 = 15$ cm) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة وأقطار مختلفة لحصى القعر

| الحالة $P-h_0 = 15$ (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 1$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 2$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 3$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{50}$ (cm) | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ |
| 1.43 | 1.7525 | 6.3134 | 0.9875 | 1.7899 | 6.3715 | 0.9947 | 3.9045 | 6.9762 | 0.9613 |
| 1.75 | 0.7063 | 5.1128 | 0.9904 | 0.8907 | 5.5629 | 0.9543 | 2.3829 | 6.29 | 0.9655 |
| 2.21 | 0.3949 | 3.3958 | 0.9608 | 0.2904 | 3.5266 | 0.9647 | 1.1999 | 5.1996 | 0.9919 |

جدول (11) : قيم المعاملات $a_5$ و $b_5$ ومعامل التحديد للمعادلة (24) ولحالة ( $P-h_0 = 20$ cm) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة وأقطار مختلفة لحصى القعر

| الحالة $P-h_0 = 20$ (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 1$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 2$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 3$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{50}$ (cm) | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ |
| 1.43 | 1.8182 | 12.357 | 0.9857 | 5.6136 | 9.4018 | 0.9698 | 8.0998 | 8.8633 | 0.898 |
| 1.75 | 0.8291 | 6.7784 | 0.9863 | 2.1582 | 9.1593 | 0.9479 | 4.9883 | 4.9952 | 0.9847 |
| 2.21 | 0.1938 | 4.6099 | 0.9723 | 1.6969 | 3.1201 | 0.9607 | 1.9925 | 4.7632 | 0.9437 |

جدول (12) : قيم المعاملات $a_5$ و $b_5$ ومعامل التحديد للمعادلة (24) ولحالة ( $P-h_0 = 30$ cm) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة وأقطار مختلفة لحصى القعر

| الحالة $P-h_0 = 30$ (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 1$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 2$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 3$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{50}$ (cm) | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ | $a_5$ | $b_5$ | $R^2$ |
| 1.43 | 2.585 | 15.47 | 0.9438 | 6.9919 | 12.594 | 0.9706 | 12.169 | 14.163 | 1 |
| 1.75 | 2.4522 | 8.9502 | 0.9133 | 5.9494 | 6.0989 | 0.956 | 7.7212 | 12.555 | 0.9974 |
| 2.21 | 0.9235 | 5.5169 | 0.893 | 2.616 | 5.5022 | 0.9551 | 5.047 | 6.9272 | 0.9814 |

جدول (13) : قيم المعاملات $a_6$ و $b_6$ ومعامل التحديد للمعادلة (25) ولحالة ( $P-h_0 = 15$ cm) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة وأقطار مختلفة لحصى القعر

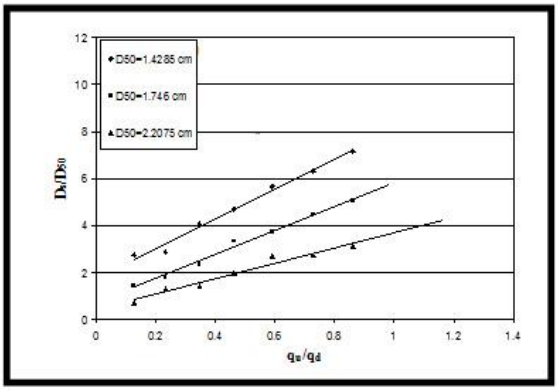
| الحالة $P-h_0 = 15$ (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 1$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 2$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 3$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{50}$ (cm) | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ |
| 1.43 | 7.865 | 23.241 | 0.9847 | 9.5073 | 26.241 | 0.9809 | 8.9141 | 39.3 | 0.9784 |
| 1.75 | 4.3115 | 19.86 | 0.9955 | 6.054 | 20.606 | 0.9815 | 7.0112 | 28.833 | 0.9829 |
| 2.21 | 3.3247 | 14.253 | 0.9924 | 4.031 | 16.299 | 0.9747 | 4.8937 | 19.832 | 0.9702 |

جدول (14) : قيم المعاملات $a_6$ و $b_6$ ومعامل التحديد للمعادلة (25) ولحالة ( $P-h_0 = 20$ cm) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة وأقطار مختلفة لحصى القعر

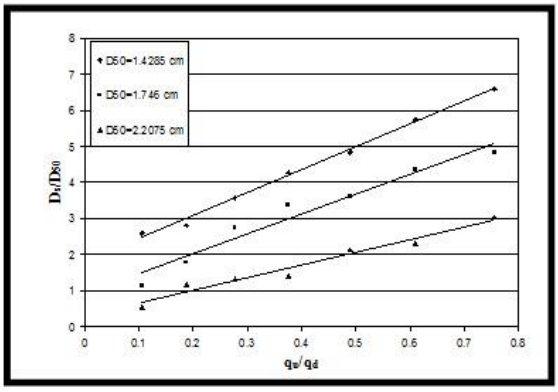
| الحالة $P-h_0 = 20$ (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 1$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 2$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 3$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{50}$ (cm) | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ |
| 1.43 | 6.3209 | 37.121 | 0.9964 | 13.582 | 36.588 | 0.975 | 19.859 | 33.827 | 0.9745 |
| 1.75 | 5.0162 | 24.143 | 0.9798 | 8.1028 | 20.995 | 0.8917 | 11.303 | 26.352 | 0.9794 |
| 2.21 | 0.5156 | 20.986 | 0.9919 | 3.9695 | 16.337 | 0.9735 | 6.4667 | 18.145 | 0.902 |

جدول (12) : قيم المعاملات $a_6$ و $b_6$ ومعامل التحديد للمعادلة (25) ولحالة ( $P-h_0 = 30$ cm) ولارتفاعات مختلفة لفتحة البوابة المركبة وأقطار مختلفة لحصى القعر

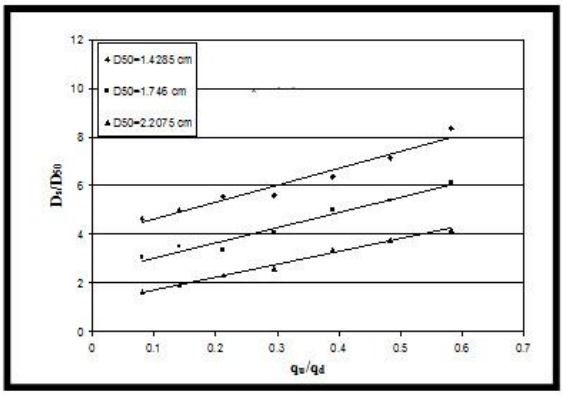
| الحالة $P-h_0 = 30$ (cm) | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 1$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 2$ cm | | | ارتفاع فتحة البوابة المركبة $h_0 = 3$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{50}$ (cm) | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ | $a_6$ | $b_6$ | $R^2$ |
| 1.43 | 8.692 | 41.23 | 0.9672 | 18.557 | 37.23 | 0.9801 | 32.283 | 41.149 | 0.9693 |
| 1.75 | 3.8683 | 34.397 | 0.9821 | 10.74 | 32.285 | 0.9741 | 20.751 | 26.57 | 0.9932 |
| 2.21 | 2.2489 | 22.093 | 0.9493 | 7.2023 | 20.209 | 0.9416 | 12.507 | 23.987 | 0.9937 |



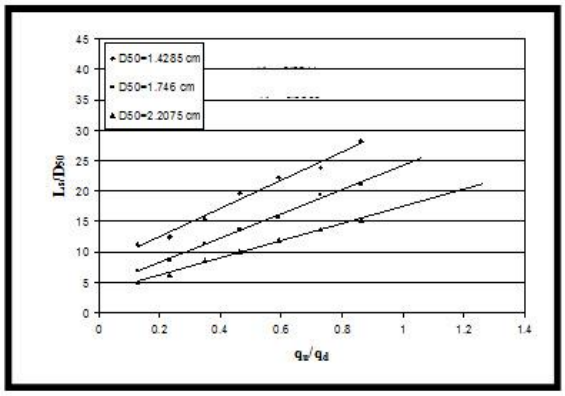

شكل (16) : العلاقة بين $(D_s/D_{50})$ و $(q_u/q_d)$ للبوابة المركبة بارتفاع ( $P-h_0$ =15cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=1cm) ولجميع نماذج مواد القعر



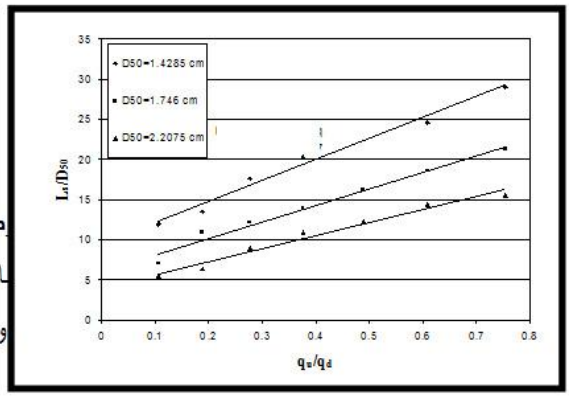

شكل (17) : العلاقة بين $(D_s/D_{50})$ و $(q_u/q_d)$ للبوابة المركبة بارتفاع ( $P-h_0$ =15cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=2cm) ولجميع نماذج مواد القعر



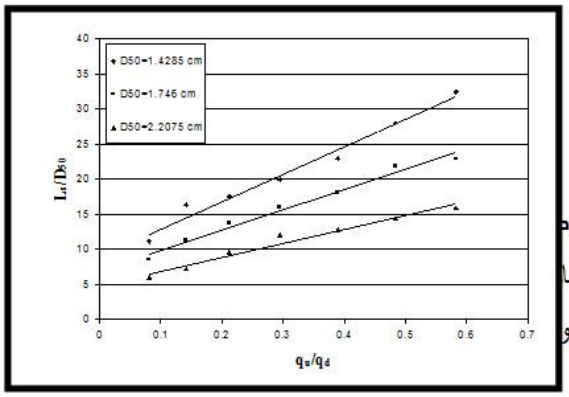

شكل (18) : العلاقة بين ($D_s/D_{50}$) و ($q_u/q_d$) للبوابة المركبة بارتفاع ($P-h_0$ =15cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=3cm) ولجميع نماذج مواد القعر




شكل (19) : العلاقة بين ($L_s/D_{50}$) و ($q_u/q_d$) للبوابة المركبة بارتفاع ($P-h_0$ =15cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=1cm) ولجميع نماذج مواد القعر



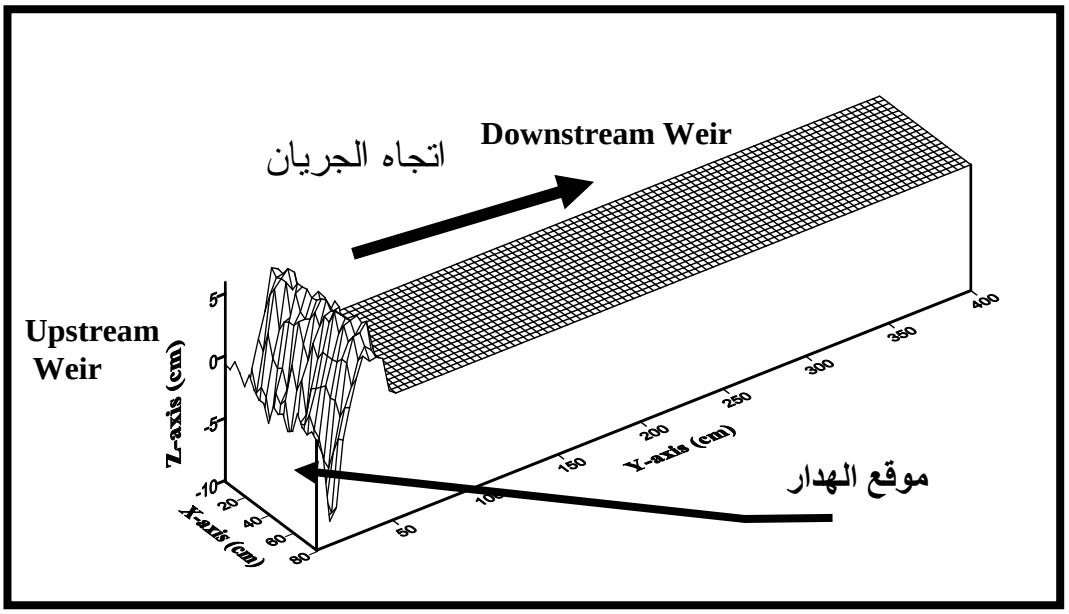

شكل (20) : العلاقة بين ($L_s/D_{50}$) و ($q_u/q_d$) للبوابة المركبة بارتفاع ($P-h_0$ =15cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=2cm) ولجميع نماذج مواد القعر



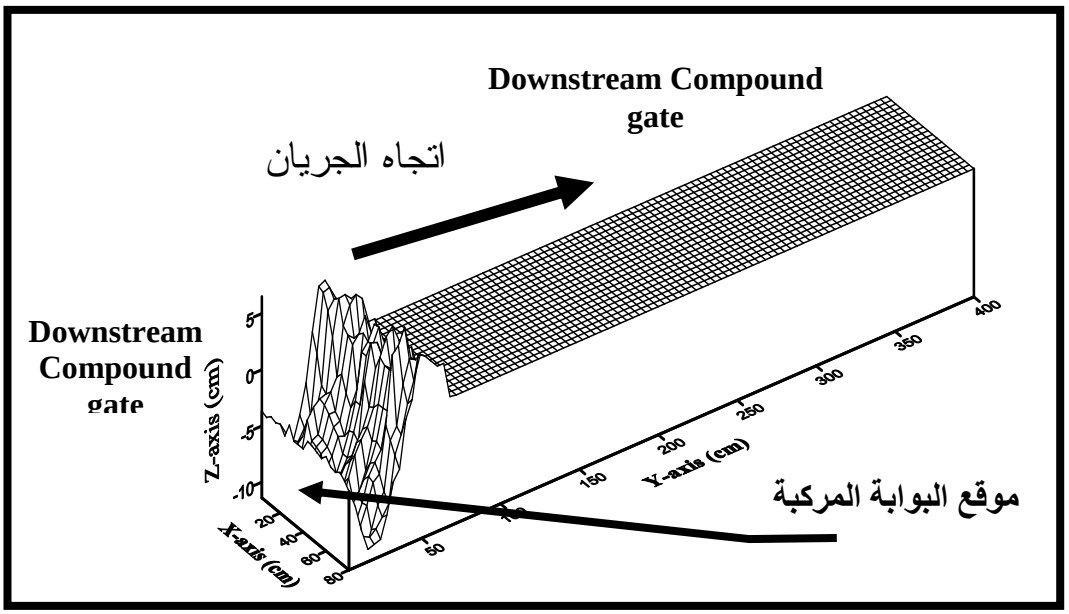

شكل (21) : العلاقة بين ($L_s/D_{50}$) و ($q_u/q_d$) للبوابة المركبة بارتفاع ( $P-h_0$ =15cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=3cm) ولجميع نماذج مواد القعر

## تغير شكل القعر ثلاثي الابعاد

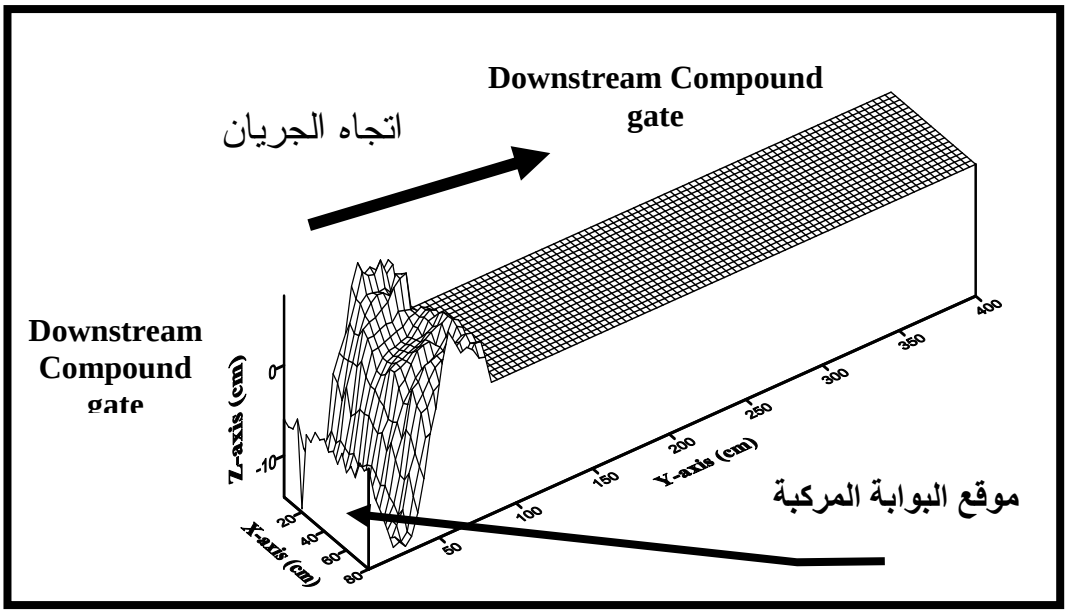
من واقع قياس النحر طولياً وعرضياً في القناة وذلك لتحديد شكل القعر بعد انتهاء عملية النحر ولتوضيح ذلك تم استخدام البرنامج (Surfer-8.0) لرسم شكل ثلاثي الابعاد للقعر بعد استقرار عملية النحر بالنسبة للهدارات والبوابات المركبة . الشكل (٢٢) يوضح شكل ثلاثي الابعاد للنحر مؤخر هدار بارتفاع ( P = ٣٠ سم) ولعمق ماء فوق حافة الهدار (h = ٤ سم) . الاشكال (٢٣) و(٢٤) و(٢٥) تبين اشكالاً ثلاثية الابعاد لبوابات مركبة ارتفاعاتها (٣٣،٣٢،٣١) سم وبفتحات سفلية ($h_0$ = ٢،٣،١ سم) على التوالي ويتضح من هذه الاشكال بانه كلما ازداد ارتفاع الفتحة السفلية فان قمة الحصى المتكدس خلف حفرة النحر تكون مسطحة اكثر وسبب ذلك يعود الى انه في حالة الفتحة السفلية الاكبر فان البوابة تمرر تصريفاً سفلياً اكبر والذي يدفع الحصى المتكدس بعيداً من البوابة فتكون قمة التكدس مسطحة أكثر .



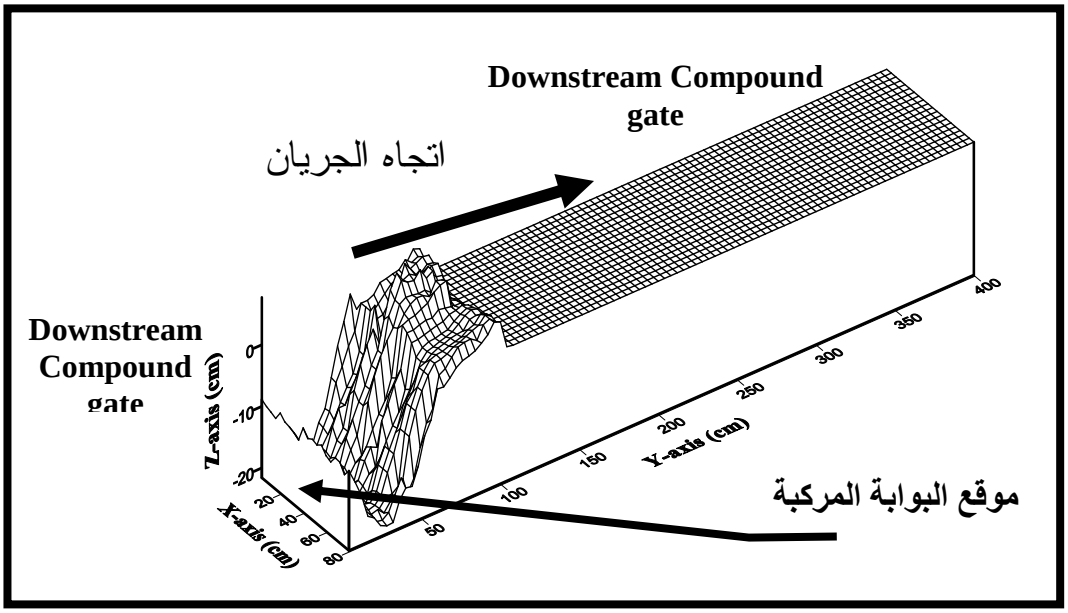

**شكل (22) : شكل ثلاثي الأبعاد لقعر القناة للهدار بارتفاع (P=30cm)**
**و لعمق الماء فوق الحافة العليا (h'=4cm)**




**شكل (23) : شكل ثلاثي الأبعاد لقعر القناة للبوابة المركبة بارتفاع (P=31 cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=1cm) و لعمق الماء فوق الحافة العليا (h'=4cm)**




**شكل (24) : شكل ثلاثي الأبعاد لقعر القناة للبوابة المركبة بارتفاع (P=32cm) وبفتحة ارتفاعها ($h_0$=2cm) ولعمق الماء فوق الحافة العليا (h'= 4cm)**




**شكل (25) : شكل ثلاثي الأبعاد لقعر القناة للبوابة المركبة بارتفاع (P=33cm) وبفتحة سفلية بارتفاع ($h_0$=3cm) و لعمق الماء فوق الحافة العليا (h'=4cm)**

## الاستنتاجات

ضمن محددات النتائج المختبرية لهذا البحث يمكن استنباط الاستنتاجات التالية :

١. من التحليل ألبعدي للعوامل المؤثرة على عمق وطول حفرة النحر مؤخر الهدارات والبوابات المركبة ومن تحليل النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب المختبرية تم التوصل إلى العلاقات الوضعية التالية :–

أ– بالنسبة للهدارات تم التوصل الى علاقة لابعدية للعمق النسبي لحفرة النحر ($D_s/D_{50}$) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٩٣١١) وعلاقة لابعدية اخرى لحساب الطول النسبي لحفرة النحر ($L_s/D_{50}$) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٩٤٢١) وكلتا العلاقتين بدلالة رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر ($Fr_0$) والسقوط النسبي ($\Delta H_w/P$).

**ب**– بالنسبة للبوابات المركبة فقد تم التوصل الى علاقة لا بعدية للعمق النسبي لحفرة النحر ($D_s/D_{50}$) بمعامل التحديد ($R^2$) يساوي (0.8989) وعلاقة لا بعدية اخرى لحساب الطول النسبي لحفرة النحر ($L_s/D_{50}$) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (0.9212) وكلتا بدلالة كثافة مواد القعر ($Fr_0$) والسقوط النسبي ($\Delta H_t/P$) و ارتفاع الفتحة النسبي ( $h_0/\Delta H_t$ ) ($q_u/q_d$).

٢. بالنسبة للبوابات المركبة فقد تم التوصل الى علاقة لابعدية للعمق النسبي لحفرة النحر ($D_s/D_{50}$) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٨٩٨٩) وعلاقة لابعدية اخرى لحساب الطول النسبي لحفرة النحر ($L_s/D_{50}$) بمعامل تحديد ($R^2$) يساوي (٠,٩٢١٢) وكلتا العلاقتين بدلالة كل من رقم فرود بدلالة كثافة مواد القعر ($Fr_0$) والسقوط النسبي ($\Delta H_t/P$) و ارتفاع الفتحة النسبي ($h_0/\Delta H_t$) والتصريف النسبي ($q_u/q_d$).

٣. تم التوصل الى العديد من العلاقات الخطية الطردية لكل من عمق وطول حفرة النحر النسبيين ($D_s/D_{50}$) و ($L_s/D_{50}$) على التوالي مع رقم فرود ($Fr_0$) بدلالة كثافة مواد القعر للهدارات والبوابات المركبة وكذلك مع التصريف النسبي ($q_u/q_d$) للبوابات المركبة.

٤. اتضح من التجارب التي أجريت 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 .

٥. بالنسبة لشكل حفرة النحر 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.

٦. يكون تأثير الجريان السفلي للبوابات المركبة ايجابيا في تقليل عمق النحر في البوابات ذات الارتفاع الواطئ (مساو وأقل من ٢٠ سم) في حين ينعكس ذلك التأثير في البوابات ذات الارتفاع العالي (أكثر من ٢٠ سم).

٧. استخدام الفتحات أسفل الهدارات كصمامات أمان لإمرار تصاريف أعلى مع عدم الخشية من الزيادة في عمق حفرة النحر في مؤخر تلك الهدارات وبالأخص في الهدارات الواطئة.

٨. 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.

## References


- 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 .
- British Standard Institution, (1965) : Method of Measurement of Liquid Flow in Open Channel . BS3680, part (A) , London , England.
- 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.
- Chow, V. T, (1959): Open Channel Hydraulics . Mac Graw -Hill International Company , International Student Edition .
- Dargahi, B, (2003): Scour Development Downstream of Spillway . J. Hyd. Res., IAHR, Vol. 41, No. 4, pp.417-426 .
- Simons, D. and Şentürk, F, (1992): Sediment Transport Technology .Water Resources Publications , Littleton, Colorado, U.S.A.
- Uyumaz, A, (1988): Scour Downstream of Vertical Gate . J . Hyd. Eng., ASCE, Vol. 114, No. 7, pp.811- 816.


## المصادر


- القطان ، احمد عبد الحميد احمد (٢٠٠٧) : دراسة مختبرية للنحر مؤخر الهدارات والبوابات المركبة وبوابات الكسح . رسالة ماجستير ، قسم هندسة الموارد المائية ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل .
- نوري و الحافظ ، (٢٠٠٧) : دراسة مختبرية للنحر في الأرضيات الحجرية مؤخر الهدارات المثلثية . مجلة هندسة الرافدين ، المجلد ١٥ ، ٤٧–٦٢ ص.

# Scour in Stone Beds Downstream Weirs and Compound Gates

**Bahzad M. Ali*  Mwafaq Y. Mohammed**  Ahmad A. Ahmed**
*** Civil Eng. Dept./ College of Engineering -University of Duhok  Water**
****Resources Eng. Dept./ College of Engineering -University of Mosul**

Received: 27/4/2009, Accepted: 25/1/2010

## 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, under sluice opening height, discharge variation and the diameter of bed material on the depth and length of scour hole. Two hundred and thirty four experiments were conducted in a concrete laboratory channel. Three sizes of crushed aggregate in range of (1.43-2.21)cm and three of gate height 15, 20 and 30cm were tested . Three heights of gate openings 1, 2 and 3cm were also tested. Experimental Results of this study showed a good direct relationships between relative scour depth ($D_s/D_{50}$) and relative scour length ($L_s/D_{50}$) with densimetric Froude number ($Fr_o$) for weirs and compound gates. It was also shown that ($D_s/D_{50}$) and ($L_s/D_{50}$) have good relationships with the relative discharge ($q_u/q_d$) for all cases and bed materials of compound gates. Two empirical relationships were obtained to estimated ($D_s/D_{50}$) and ($L_s/D_{50}$) in terms of ($Fr_o$) and relative water surface fall ($\Delta H_w/P$) for weirs with high determination coefficients. Another two empirical relationships were obtained to estimated ($D_s/D_{50}$) and ($L_s/D_{50}$) in terms of ($Fr_o$) , relative water surface fall ($\Delta H_t/P$) , relative opening height ($h_0/\Delta H_t$) and relative discharge ($q_u/q_d$) for compound gates with high determination coefficients.