

## دراسة مختبرية للنحر مؤخر هدار مفتاح البيانو نوع C بتغير ارتفاع الهدار وعرض المفاتيح وطول أرضية الحماية

غنية عبد المجيد حياوي  
dr.ghania.1956@gmail.com

خالد ياسين طه  
k.taha@uomosul.edu.iq

أروى عبد الرزاق ملا عبدة  
arwaenp 115 @student .uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم هندسة السدود والموارد المائية

تاريخ القبول: 25/9/2021

تاريخ الاستلام: 4/7/2021

### الملخص

لمعرفة آلية حدوث النحر مؤخر الهدارات ودراسة تأثير تغيير نسبة عرض المفاتيح  $W_i/W_o$  و طول أرضية الحماية ودراسة تأثير تغيير الطول الجانبي B على عمق وطول حفرة النحر بإمرار تصارييف مختلفة وباستخدام الرمل المنتظم خلف الهدار. أجريت دراسة مختبرية لقياس عمق النحر مؤخر هدار مفتاح البيانو نوع C وبيان تأثير كل من ارتفاع الهدار، نسبة عرض المفاتيح وطول أرضية الحماية تم استخدام ثلاثة ارتفاعات للهدار (25,30,35) سم وثلاث نسب لعرض المفاتيح (1,1.25,1.5) ومسافتين لأرضية الحماية (90,120) وبتمرير أربعة تصارييف مختلفة (36, 29, 22, 15) لتر/ثا في التجارب حيث بلغ عدد النماذج المستخدمة تسعة نماذج أجريت عليها (72) تجربة. أظهرت نتائج الدراسة انه بزيادة نسبة عرض المفاتيح عند ثبوت الارتفاع والتصريف يقل عمق النحر ولجميع التجارب وانه بتقليل ارتفاع الهدار وبتبوت نسبة عرض المفاتيح والتصريف يقل النحر ولجميع التجارب. كما اظهرت النتائج انه بزيادة طول أرضية الحماية بنسبة 33.33% يقل عمق النحر بنسبة تتراوح بين (2.17-28.75)% وانه بزيادة نسبة عرض المفاتيح من النسبة (1) الى النسبة (1.5) يقل عمق النحر بنسبة تتراوح بين (13.04-47.38)% ولجميع التجارب وانه بنقصان ارتفاع الهدار من 35 سم الى 25 سم تراوحت نسبة النقصان في عمق النحر (20-40.2)% وعند ادخال البيانات في البرنامج الاحصائي (SPSS) تم التوصل الى معادلة وضعية بدلالة المتغيرات وبمعامل تحديد مقداره  $R^2=0.958$ .

### الكلمات الدالة:

النحر، هدار مفتاح البيانو نوع C، أرضية الحماية، تربة منتظمة.

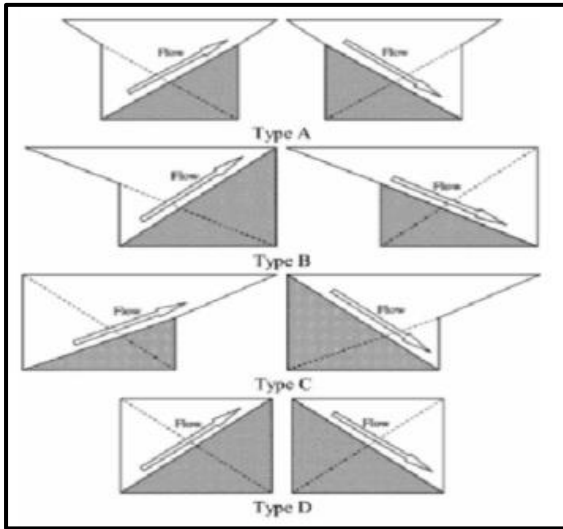
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).  
<https://rengj.mosuljournals.com>

### قائمة الرموز :

|                                            |                |
|--------------------------------------------|----------------|
| الطول الجانبي لهدار مفتاح البيانو (L)      | B              |
| طول البروز الجانبي لهدار مفتاح البيانو (L) | B <sub>i</sub> |
| أقصى عمق للنحر                             | D <sub>s</sub> |
| رقم فرود                                   | Fr             |
| التعجيل الأرضي (LT <sup>-2</sup> )         | g              |
| ارتفاع الماء فوق هدار مفتاح البيانو (L)    | H              |
| طول حافة الهدار (L)                        | L              |
| طول أرضية الحماية (L)                      | L <sub>b</sub> |
| أقصى طول لحفرة النحر (L)                   | L <sub>s</sub> |
| ارتفاع الهدار (L)                          | P              |
| التصريف (LT <sup>-1</sup> )                | q              |
| عرض مفتاح المقدم (L)                       | W <sub>i</sub> |
| عرض مفتاح المؤخر (L)                       | W <sub>o</sub> |
| عمق الماء الذيلي (L)                       | Y <sub>t</sub> |

## 1- المقدمة:

الهدار ومؤخره والنوع (B) له بروز في مقدم الهدار والنوع (C) يكون البروز في مؤخر الهدار والنوع (D) لا يمتلك اي بروز وكما موضح في الشكل (1). والنوع (C) يكون البروز في مؤخر الهدار والنوع (D) لا يمتلك اي بروز وكما موضح في الشكل (1).



الشكل (1) انواع الهدار مفتاح البيانو [7]

أحجام مختلفة للنتوءات ( $K_s$ ) (0,1 , 1.85, 3.58 & 5) ملم وكذلك استخدام خمسة احجام مختلفة من حجم مادة القعر  $D_{50}$  بنفس حجم النتوءات بينت نتائج الدراسة ان خشونة أرضية الحماية تؤثر على خصائص حفرة النحر اذ تزداد المقاومة ضد الجريان بسبب وجود الخشونة وتتبدد الكثير من الطاقة بالمقارنة مع الارضية الملساء وبالتالي قابلية الجريان على النحر في التربة مؤخر الارضية يقل .وكما زادت خشونة الارضية تقل أبعاد حفرة النحر بنسبة 60%. كما درست [1] خصائص الجريان فوق الهدار مفتاح البيانو نوع C باستخدام 27 نموذج للهدار باستخدام ثلاثة ميول لمفتاح مقدم الهدار 0.46 & 0.6, 1 وثلاثة نسب مختلفة لعرض المفاتيح 1.81 & 1.61 , 1 وثلاث ارتفاعات لنموذج الهدار .اظهرت نتائج الدراسة ان الميل 0.46 يعطي أفضل كفاءة اداء من باقي الميول وان نسبة عرض المفاتيح 1.81 تعطي افضل

يعد الهدار مفتاح البيانو تطويراً للهدار المتعرج اذ بدا استخدامه اواخر التسعينات ومطلع عام 2000 عندما قامت المنظمة الفرنسية هيدروكوب (Hydrocoop) بتصميم اول هدار لمفتاح البيانو ودراسة امكانية انشاءه في جامعة بسكرة في الجزائر [9]. انشأ لأول مرة عام 2006 فوق قمة سد كلورس في فرنسا لإعادة تأهيل السد [2]. حيث تكون تكلفته قليلة اذ ان حجمه أقل وذات كفاءة عالية في زيادة حجم الخزين نتيجة زيادة طول حافة الهدار ويكون سهل الانشاء. وهو هدار مستطيلة الشكل له بروز (Over hinge) من جهة مقدم الهدار أو مؤخره ، وهذه البروزات لها ميول في قواعدها تعمل على توجيه الجريان بعيدا عن حافة السد وزيادة طول الحافة مما يؤدي الى زيادة سعة تصريف السد. ونظرا لتكرار هذه المستطيلات والتي تتداخل بميولها جاءت تسميته بالهدار مفتاح البيانو PKW. يوجد اربعة انواع منه النوع (A) يمتلك بروز من جهة مقدم

من أجل ذلك بدا الباحثون بدراسة هذا النوع والعوامل المؤثرة عليه والمتغيرات التي تدخل في تصميمه وتأثيرها على النحر مؤخر هذه الهدارات حيث درس [8] تأثير حجم حبيبات التربة على النحر في الهدارات المتعرجة الجانبية مثلثة الشكل بزوايا 90° بارتفاع 16 سم وطول 25 سم باستخدام ثلاث اقطار مختلفة لتربة منتظمة الشكل ملم (1.2, 1.5, 1.8 و  $d_{50} = 0.65 - 1.10$  لتر/ثا و بتصريف يتراوح بين (65-110) لتر/ثا و توصل الباحث الى ان زيادة طول الحافة في الهدارات المتعرجة تعمل على توزيع الماء على مساحة اكبر واكثر مما هو عليه في الهدارات التقليدية وهذا يقلل من النحر الحاصل مؤخر الهدار .كذلك توصي هذه الدراسة بزيادة اقطار حجم الحبيبات لانواع واحجام مختلفة من الهدارات الجانبية. ولأهمية أرضية الحماية في تقليل النحر حيث تكون اما ملساء أو خشنة. درس [3] النحر مؤخر أرضية حماية خشنة باستخدام خمسة

الهدار فضلا عن نقصان عمق النحر بسبب نقصان سرعة الجريان عند مؤخر الهدار، كما ان زيادة رقم فرود تؤدي الى زيادة ابعاد حفرة النحر وكلما زاد عدد المفاتيح تزداد ابعاد حفرة النحر اذ انه لنفس التصريف وعند ثبوت رقم فرود وعمق الماء مؤخر الهدار فان زيادة عدد المفاتيح تزيد من كمية التصريف المار فوق الهدار. لذلك فان استخدام 9 مفاتيح للهدار عند تصاريح مختلفة (10، 15 و 25) لتر/ ثا يعطي مقدار نحر يكون اكثر من النحر الحاصل عند استخدام 5 مفاتيح بمقدار 30.7% ويكون اقل بنسبة 7% من الهدار الخطي. كما يمكن تقليل النحر خلف هذه الهدارات بإضافة تركيب للهدار يعرف بالأنف الذي تكون فائدته تقليل الدوامات وجعل خطوط الجريان اكثر سلاسة واقل خسائر بالطاقة ويعمل على توجيه الجريان الى مفتاح دخول الماء لذلك اجري [6] دراسة مختبرية للنحر مؤخر هدار مفتاح البيانو نوع A باستخدام موديل فيزيائي يحتوي في مقدمته على انف يتكون من ثلاث مفاتيح اجريت التجربة في قناة زجاجية وباستخدام تصريفين مختلفين (8.8) و (6) لتر/ ثانية وباعماق مختلفة للماء الذيلي و كما تم استخدام أرضية حماية (apron solid) وبدون استخدامها اظهرت النتائج ان ابعاد حفرة النحر تقل عند استخدام أرضية حماية مؤخر الهدار بالمقارنة في حالة عدم استخدام أرضية حماية . ويصل عمق النحر الى 80% من ارتفاع الهدار في حالة عدم استخدام أرضية حماية .وكما يحدث اقصى نحر عند التصاريح العالية والماء الذيلي قليل وبالعكس.

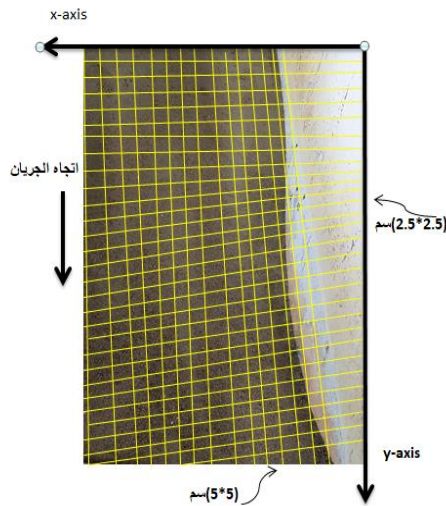
نوع C (بواقع دورتين وخمس فتحات) للنموذج الواحد مصنوعة من مادة الفاير كلاس الزجاجي باستخدام ثلاث ارتفاعات للهدار سم (25,30,35) وثلاث نسب لعرض المفاتيح (1,1.25,1.5) ومسافتين لأرضية الحماية سم (90,120) فرشت منطقة الدراسة الواقعة بعد انتهاء أرضية الحماية بالرمل

قيمة لمعامل التصريف ونسبة عرض المفاتيح (1) تعطي اقل قيمة لمعامل التصريف وان النماذج ذات الارتفاع والطول الاكبر للميل نفسه تعطي اعلى قيمة لكفاءة الاداء ومعامل التصريف . وتزداد كفاءة الاداء ومعامل التصريف بزيادة كل من نسبة طول حافة الهدار الى عرضه ( $L/W$ ) ونسبة طول البروز مؤخر الهدار الى الطول الجانبي للهدار ( $Bi/B$ ). كما اجري [4] دراسة مختبرية للنحر مؤخر الهدار مفتاح البيانو نوع A باستخدام موديل فيزيائي يتكون من سبع مفاتيح للهدار . تم وضع نوعين من مادة القعر في قعر القناة حصى بقطر (4.4، 6.3، 10.7) ملم  $D_{50}$  وبزاوية استقرار  $45^\circ$  ورمل ناعم بقطر (1.4، 1.6، 2.9) ملم وبزاوية استقرار  $39^\circ$  وكلا النموذجين من النوع الغير متماسك وعلى شكل حبيبات غير دائرية. وبتصريف تراوح بين (0.6 - 0.012) م<sup>3</sup>/ ثانية. اظهرت بيانات التجربة ان اقصى عمق لحفرة النحر يعتمد على خصائص الرسوبيات، وفرق الارتفاع وعمق الماء الذيلي .وان خصائص النحر للهدار مفتاح البيانو مشابه للنحر الناتج عن البثق. كما توصل الى ان النحر يتناسب مع زاوية الاستقرار.وان النحر الذي يتولد من الهدار مفتاح البيانو يعتبر نحر ناتج من بثق. ونظرا لتاثير عدد المفاتيح لهذه الهدارات على النحر اجري [5] دراسة مختبرية على موديلين فيزيائيين للهدار مفتاح البيانو نوع A باستخدام 9 مفاتيح على التعاقب وتبين ان عمق الجريان والنحر الحاصل بالهدار مفتاح البيانو يكون اقل من الهدار الخطي ويعود ذلك الى ان زيادة طول الحافة في الهدار مفتاح البيانو تؤدي الى نقصان عمق الماء فوق حافة

#### العمل المختبري :

اجريت التجارب في مختبر الهيدروليك التابع لقسم هندسة السدود والموارد المائية في جامعة الموصل باستخدام قناة مختبرية مشيدة من مادة الكونكريت بطول 24.65 م وعرض 0.81 م وعمق 0.76 م باستخدام تسع نماذج للهدار مفتاح البيانو

اجريت التجارب بظروف الجريان تحت الحرج وباستخدام الماء الصافي وسقوط حر للجريان يتم ايقاف التشغيل بعد مرور ثلاث ساعات من الوصول الى حالة التوازن ومن ثم اخذ قراءات أعماق النحر بعد عمل تشبيك (5\*5) سم وكما موضح باللوحة (2) .

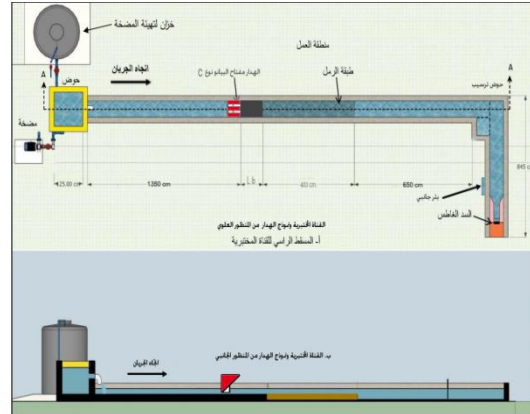


اللوحة (2) طريقة اخذ التشبيك

### 3- تحليل النتائج :

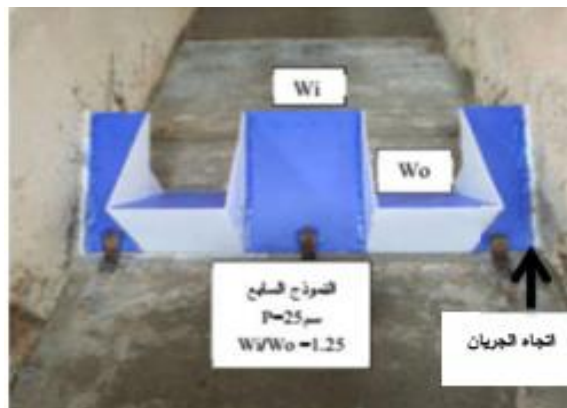
أظهرت نتائج الدراسة انه بزيادة نسبة عرض المفاتيح عند ثبوت الارتفاع والتصريف يقل عمق النحر ولجميع التجارب وانه بتقليل ارتفاع الهدار وبثبوت نسبة عرض المفاتيح والتصريف يقل النحر ولجميع التجارب . كما اظهرت النتائج انه بزيادة طول ارضية الحماية بنسبة 33.33% يقل عمق النحر بنسبة تتراوح بين (2.17-28.75)% وانه بزيادة نسبة عرض المفاتيح من النسبة (1) الى النسبة (1.5) يقل عمق النحر بنسبة تتراوح بين (13.04-47.38)% ولجميع التجارب وانه بنقصان ارتفاع الهدار من 35 سم الى 25 سم تراوحت نسبة النقصان في عمق النحر (20-40.2)%.

المنتظم متوسط قطر حبيباته ملم  $D_{50} = 0.7$  وبانحراف معياري  $\sigma_g = 1.3$  والممتدة لمسافة 4 م بعمق 0.2 م وبإمرار اربع تصارييف مختلفة (15، 22، 29، 36) لتر/ثا وفي نهاية القناة يوجد سد غاطس يستخدم لقياس التصريف وكما موضح في الشكل (2).



الشكل (2) مقطع طولي للقناة المختبرية المستخدمة في الدراسة

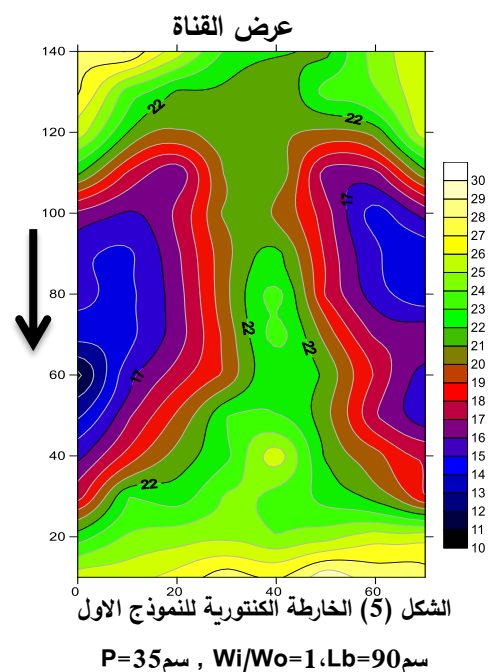
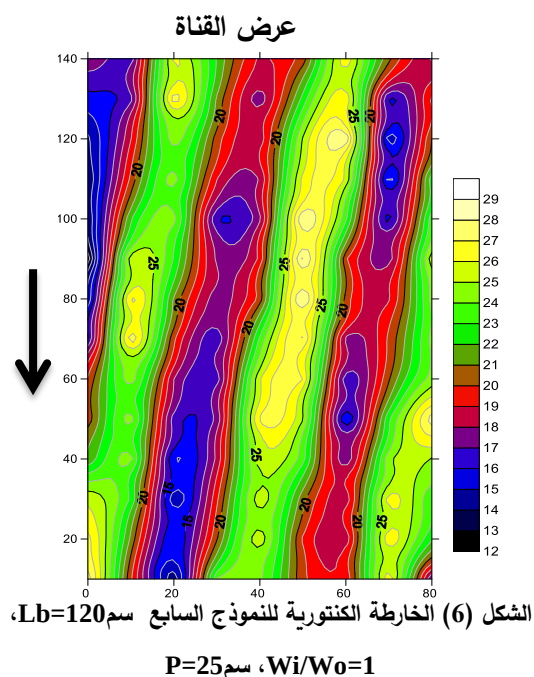
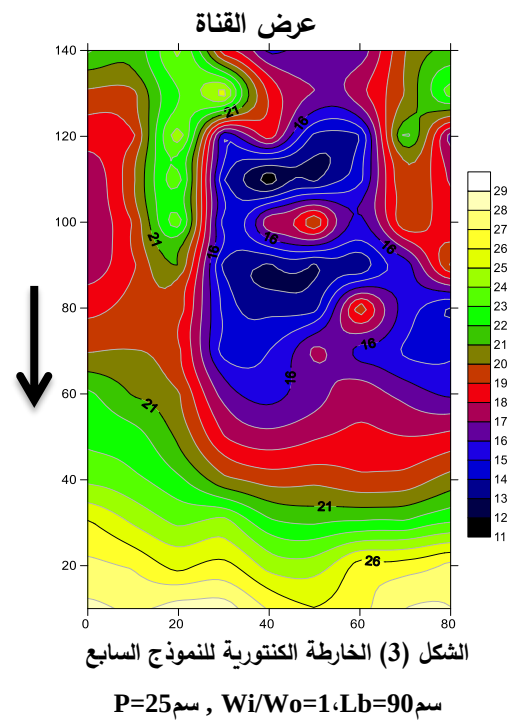
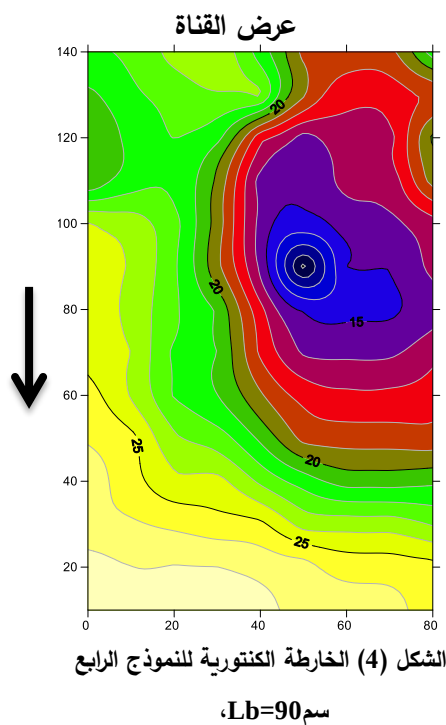
يتم تسوية سطح التربة باستخدام وزان البناء أو عن طريق استخدام point gage وبعد ذلك تشبع التربة بالماء ويتم تثبيت النماذج بالقناة بمادة السيليكون اللاصقة وكما موضح في اللوحة (1)

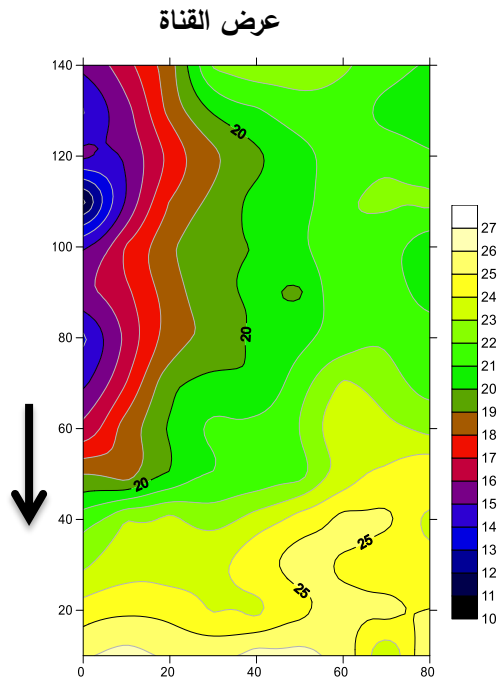


اللوحة (1) النموذج السابع المستخدم في التجربة

والتي تبين أن النحر يحدث في جوانب القناة التي تكون قريبة من مفتاح المقدم والواقعة تحت تأثير الماء الساقط من بروز مفتاح المقدم الموجود في جوانب الهدار كذلك يحدث النحر في وسط القناة في المنطقة المواجهة لبروز مفتاح المقدم الموجود وسط الهدار.

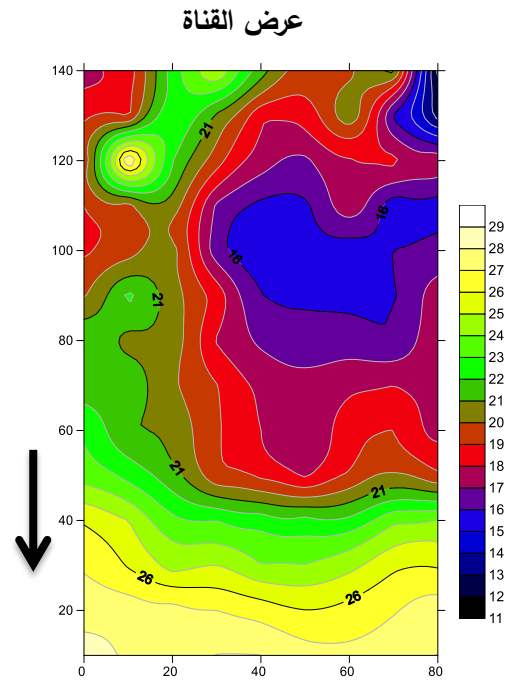
يحدث النحر خلال الدقائق الاولى من بدء تشغيل القناة (ديهارشاد وجوهري (Dehrashid&Gohari,2019) وعند سقوطه من فوق حافة الهدار يسبب نحر بالقرب من نهاية أرضية الحماية. الاشكال من (3-8) توضح الخارطة الكنتورية لاعماق النحر لبعض التجارب. التي تم رسمها باستخدام برنامج (Surfer-13)





الشكل (8) الخارطة الكنتورية للنموذج الاول

P=35سم Lb=120سم، Wi/Wo=1



الشكل (7) الخارطة الكنتورية للنموذج الرابع

P=30سم Lb=120سم، Wi/Wo=1

اما بالنسبة للمتغير  $\frac{B_i}{H}$  تأثيره قليل لذلك تم الغائه من المعادلة (3).

وبمعامل تحديد مقداره  $R^2 = 0.958$  واستخدم ثلث البيانات المتبقي للمعايرة ومن خلاله تم ايجاد

قيم  $D_s/H$

والجدول رقم (1) يمثل قيم المتغيرات وقيم نسب العمق المقاسة مع المحسوبة من المعادلة (3) ونسب الخط لهذه القيم.

ومن الجدير بالذكر قبل اعتماد المعادلة (3) تم اجراء سلسلة من المحاولات لصيغ أخرى مشابهة للمعادلة (3) غير ان نتائج التحليل الاحصائي اظهرت تأثير جيد لهذه المتغيرات المعتمدة في المعادلة اعلاه وتم اعتمادها

والشكل (9) يبين مدى ترابط قيم البيانات

المحسوبة من المعادلة (3) مع البيانات المقاسة مختبريا وتقاربها من خط التوافق الامثل.

ونظرا لاهمية معرفة قيم نواتج النحر في الحفاظ على سلامة المنشآت الهيدروليكية من الانهيار تم تحديد اهم العوامل المؤثرة على النحر تحت نفس محددات الدراسة وهي:

$$D_s = f_1(q, H, P, L, L_b, W_i, W_o, B, B_i, Y_t, g) \dots\dots\dots 1$$

باستخدام طريقة التحليل البعدي في

المعادلة (1) تم الوصول للعلاقة التالية:

$$\frac{D_s}{H} = f_2(Fr, \frac{P}{L_b}, \frac{B_i}{H}, \frac{W_i}{W_o}, \frac{Y_t}{H}, \frac{L}{H}, \frac{B}{H}) \dots\dots\dots 2$$

وادخل ثلثي البيانات المتضمنة النسبة بين عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  $D_s/H$  في البرنامج الاحصائي SPSS وتم التوصل الى معادلة وضعية بدلالة المتغيرات في معادلة (2) اعلاه وكما يلي:

$$\frac{D_s}{H} = 2.118 \frac{(Fr)^{1.441} (\frac{P}{L_b})^{0.403} (\frac{B}{H})^{0.815}}{(\frac{W_i}{W_o})^{0.587} (\frac{Y_t}{H})^{0.2} (\frac{L}{H})^{0.19}} \dots\dots\dots 3$$

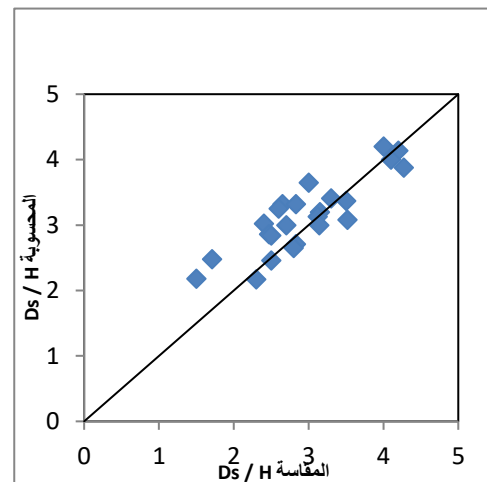
الجدول (1) يمثل قيم المتغيرات وقيم نسب العمق المقاسة مع المحسوبة من المعادلة (3) ونسب الخطأ لهذه القيم:

| $(\frac{Ds}{H})_{act}$ | Fr   | $\frac{P}{Lb}$ | $\frac{Wi}{Wo}$ | $\frac{Yt}{H}$ | $\frac{L}{H}$ | $\frac{B}{H}$ | $(\frac{Ds}{H})_{theo}$ | %error |
|------------------------|------|----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------|--------|
| 2.65                   | 0.77 | 0.27           | 1               | 1.25           | 63.25         | 10.41         | 3.32                    | -25.28 |
| 3                      | 0.96 | 0.27           | 1               | 1.1            | 42.16         | 7             | 3.65                    | -21.67 |
| 2.83                   | 0.96 | 0.27           | 1.25            | 1.18           | 46            | 7.57          | 3.32                    | -17.31 |
| 2.4                    | 0.88 | 0.27           | 1.5             | 1.28           | 58.83         | 10            | 3.02                    | -25.83 |
| 3.15                   | 0.77 | 0.34           | 1               | 1.31           | 76.31         | 13.15         | 3.2                     | -1.58  |
| 2.5                    | 0.62 | 0.34           | 1.25            | 1.7            | 109.84        | 19            | 2.46                    | 1.6    |
| 2.47                   | 0.77 | 0.34           | 1.5             | 1.76           | 102.47        | 17.66         | 2.86                    | -15.78 |
| 4.2                    | 0.62 | 0.4            | 1               | 1.67           | 116.3         | 21.6          | 4.14                    | 1.42   |
| 3.52                   | 0.62 | 0.4            | 1.25            | 2              | 140.8         | 26.16         | 3.08                    | 12.5   |
| 2.83                   | 0.62 | 0.4            | 1.5             | 2.12           | 184.11        | 27.51         | 2.71                    | 4.24   |
| 4.27                   | 0.96 | 0.4            | 1.5             | 1.73           | 84            | 15.6          | 3.88                    | 9.13   |
| 2.6                    | 0.88 | 0.21           | 1               | 1.1            | 50.6          | 8.33          | 3.25                    | -25    |
| 1.5                    | 0.62 | 0.21           | 1.25            | 1.43           | 50.57         | 13.27         | 2.18                    | -45.33 |
| 2.7                    | 0.96 | 0.21           | 1.25            | 1.18           | 46            | 7.57          | 3                       | -11.11 |
| 1.71                   | 0.77 | 0.21           | 1.5             | 1.38           | 70.27         | 11.57         | 2.48                    | -45.03 |
| 2.5                    | 0.96 | 0.21           | 1.5             | 1.33           | 52.06         | 8.57          | 2.84                    | -13.6  |
| 3.12                   | 0.88 | 0.25           | 1               | 1.23           | 64.45         | 11.12         | 3.13                    | -0.32  |
| 2.3                    | 0.62 | 0.25           | 1.25            | 1.7            | 109.84        | 19            | 2.17                    | 5.65   |
| 3.14                   | 0.96 | 0.25           | 1.25            | 1.34           | 60            | 10.31         | 3                       | 4.45   |
| 2.8                    | 0.96 | 0.25           | 1.5             | 1.38           | 61.7          | 10.63         | 2.65                    | 5.35   |
| 4                      | 0.88 | 0.3            | 1               | 1.57           | 90            | 16.66         | 4.2                     | -5     |
| 3.5                    | 0.77 | 0.3            | 1.25            | 1.74           | 110           | 20.4          | 3.37                    | 3.71   |
| 4.1                    | 0.96 | 0.3            | 1.25            | 1.71           | 82.63         | 15.35         | 4                       | 2.44   |
| 3.3                    | 0.88 | 0.3            | 1.5             | 1.7            | 97.21         | 18.06         | 3.41                    | -3.33  |

45°

### 3-1 تأثير رقم فرود :

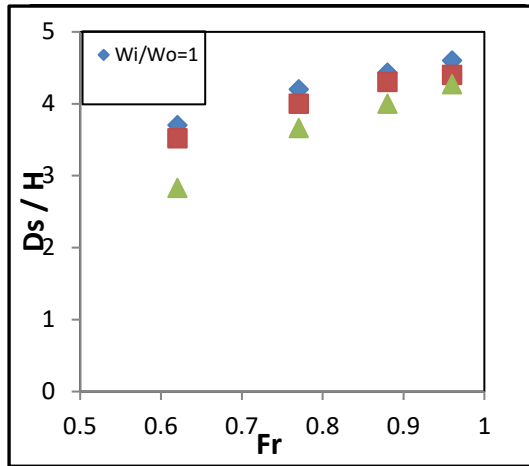
رقم فرود رقم لا بعدي وهو من العوامل المهمة التي لها تأثير على خصائص حفرة النحر يستخدم في القنوات المفتوحة لتحديد نوع الجريان و يعتمد على التعجيل الارضي وسرعة جريان الماء وارتفاع الماء بالقناة حيث تراوحت قيمه بين 0.62- 0.96 وتبين وجود علاقة طردية بين نسبة عمق حفرة النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار ( $Ds/H$ ) ورقم فرود اذ انه بزيادة التصريف يزداد



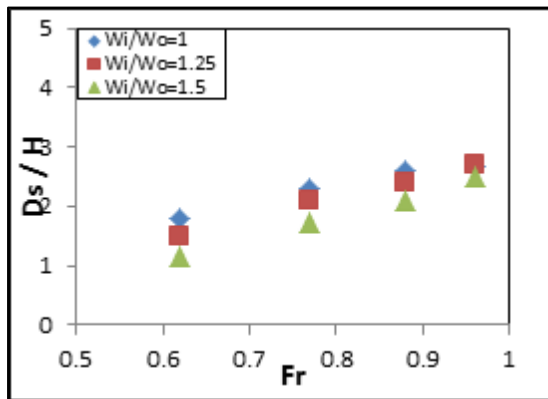
الشكل (9) يوضح العلاقة بين القيم المحسوبة والقيم

المقاسة مختبريا من المعادلة الوضعية

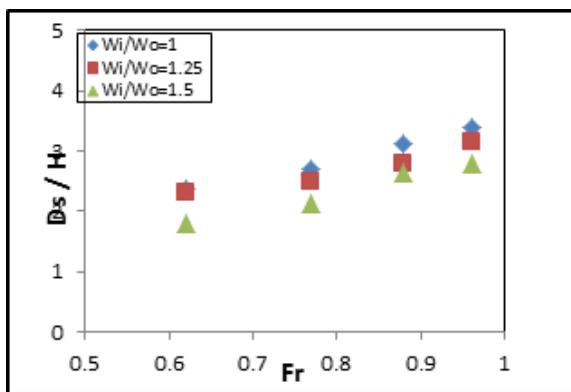




شكل (12) علاقة نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  
Ds/H ورقم فرود للهدار مفتاح البيانو عند سم  $L_b=90$  وسم  $P=35$

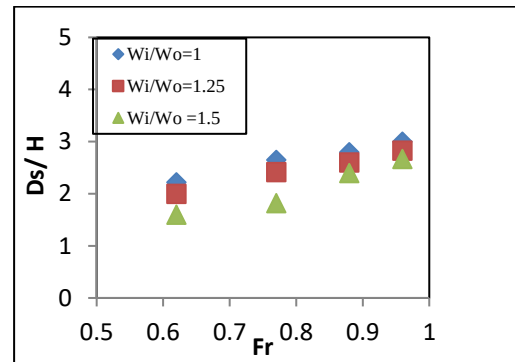


شكل (13) علاقة نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  
Ds/H ورقم فرود للهدار مفتاح البيانو عند سم  $L_b=120$  وسم  $P=25$

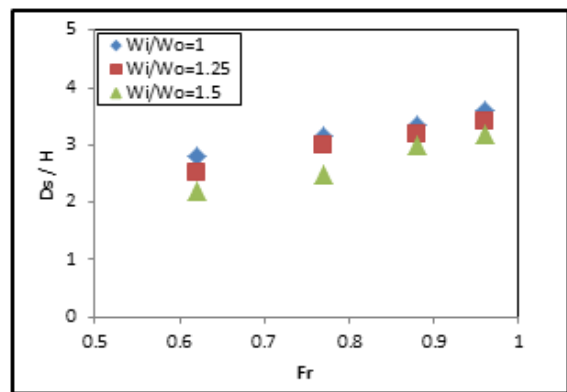


شكل (14) علاقة نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  
Ds/H ورقم فرود للهدار مفتاح البيانو عند سم  $L_b=120$  وسم  $P=30$

يزداد رقم فرود نتيجة زيادة سرعة الجريان وبالتالي يزداد النحر حيث بلغت النسبة المئوية للنقصان بعمق النحر عند تقليل التصريف من (36 الى 15) لتر/ثا ما بين (63-71.85) % ولجميع التجارب. والاشكال من (10 الى 15) توضح العلاقة بين نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار ورقم فرود.



شكل (10) علاقة نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  
Ds/H ورقم فرود للهدار مفتاح البيانو عند سم  $L_b=90$  وسم  $P=25$



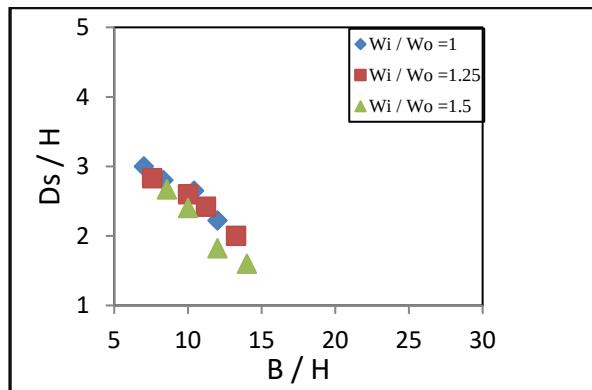
شكل (11) علاقة نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  
Ds/H ورقم فرود للهدار مفتاح البيانو عند سم  $L_b=90$  وسم  $P=30$



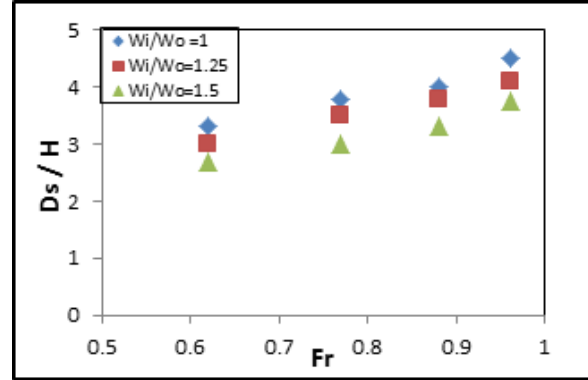
تؤدي الى زيادة في عرض المفاتيح وبالتالي نقصان في ارتفاع عمق الماء فوق حافة الهدار مما يقل في عمق النحر مؤخر الهدار مفتاح البيانو نتيجة نقصان سرعة الجريان وبالتالي نقصان في كمية النحر.

### 3-4 تأثير الطول الجانبي للهدار $B/H$ :

ان زيادة ارتفاع الهدار تؤدي الى زيادة الطول الجانبي وبالتالي زيادة عمق النحر نتيجة زيادة الطاقة الحركية للجريان بثبوت ميل مفتاح المقدم  $S_i$  ومفتاح المؤخر  $S_o$  وينقصان ارتفاع الهدار فان الطول الجانبي يقل مما يقلل من كمية التصريف المار من خلال البروز وبالتالي تقليل النحر حيث بلغت النسبة المئوية لنقصان عمق النحر بتقليل الارتفاع من 35 سم الى 25 سم بين (20-40.2) % عند ارضية حماية بطول 90 سم و 120 سم على التعاقب ونسبة عرض المفاتيح 1.5 وهذا ما توضحه الاشكال من (16) الى (21).



شكل (16) علاقة نسبة عمق النحر  $D_s/H$  والطول الجانبي للهدار  $B/H$  الى ارتفاع الماء فوق الهدار عند 90 سم  $L_b$  و 25 سم  $p$



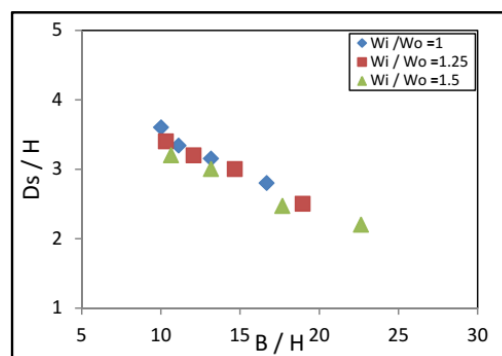
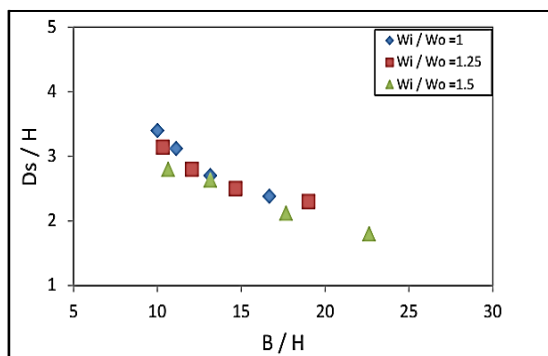
شكل (15) علاقة نسبة عمق النحر الى ارتفاع الماء فوق الهدار  $D_s/H$  ورقم فرود للهدار مفتاح البيانو عند  $P=35$  سم و  $L_b=120$  سم

### 3-2 تأثير طول ارضية الحماية $L_b$

تعتبر ارضية الحماية ( $L_b$ ) Apron Solid من الوسائل الدفاعية التي يتم استخدامها لتقليل عمق النحر مؤخر الهدارات خاصة عند استخدام الرمل غير المتماسك سوءا المنتظم او غير المنتظم . إذ انه بزيادة طول ارضية الحماية تقل طاقة الجريان قبل الوصول الى منطقة الدراسة. اذ اظهرت النتائج انه بزيادة طول ارضية الحماية بنسبة 33.33% اي زيادة طول ارضية الحماية من 90 سم الى 120 سم فان النسبة المئوية لنقصان عمق النحر تتراوح بين (2.17-28.75) % ولجميع التجارب. وهذا يتفق مع دراسة الباحثان कुमार واحمد (Kumar and Ahmed, 2020)

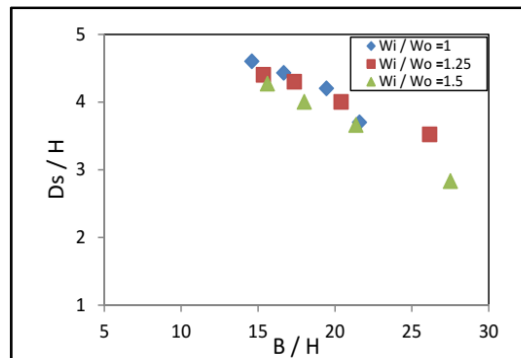
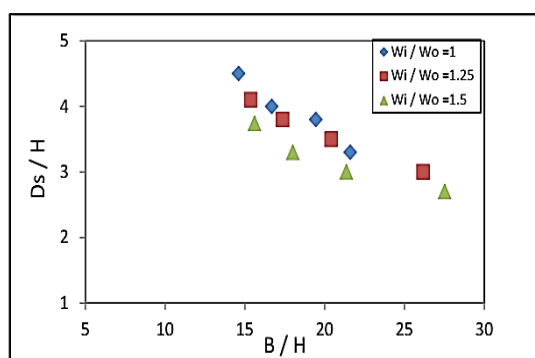
### 3-3 تأثير نسبة عرض المفاتيح $W_i/W_o$ :

اظهرت نتائج الدراسة ان اقل عمق للنحر تم الحصول عليه لنسبة عرض المفاتيح (1.5، 1.25) بقيمة (3.42، 4.71، 6.5) سم على التعاقب عند الارتفاع 25 سم وطول ارضية حماية 120 سم وتصريف 15 لتر/ثا اذ بلغت أعلى قيمة لنقصان عمق النحر عند تغير نسبة عرض المفاتيح من 1 الى 1.5 بقدر 47.38%. ميع التجارب وهي اعلى قيمة للنقصان في عمق النحر تم الحصول عليها وهذا يتفق مع ما توصل له الباحثان ديهارشاد وجوهري (Deharshad and Gohari, 2018) اذ أن زيادة طول حافة الهدار



شكل (20) علاقة نسبة عمق النحر  $D_s/H$  والطول الجانبي للهدار  $B/H$  الى ارتفاع الماء فوق الهدار عند  $L_b = 120$  سم و  $p=30$  سم

شكل (17) علاقة نسبة عمق النحر  $D_s/H$  والطول الجانبي للهدار  $B/H$  الى ارتفاع الماء فوق الهدار عند  $L_b = 90$  سم و  $p=30$  سم

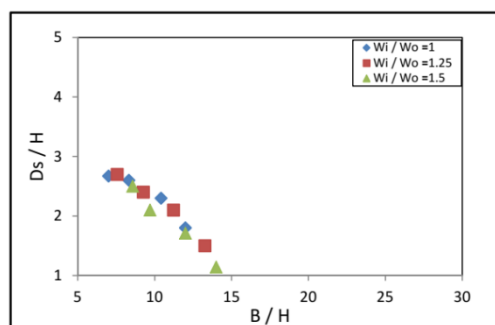


شكل (21) علاقة نسبة عمق النحر  $D_s/H$  والطول الجانبي للهدار  $B/H$  الى ارتفاع الماء فوق الهدار عند  $L_b = 120$  سم و  $p=35$  سم

شكل (18) علاقة نسبة عمق النحر  $D_s/H$  والطول الجانبي للهدار  $B/H$  الى ارتفاع الماء فوق الهدار عند  $L_b = 90$  سم و  $p=35$  سم

### الاستنتاجات:

اجريت دراسة مختبرية لدراسة مشكلة النحر الذي يحدث مؤخر الهدارات ومنها هدار مفتاح البيانو نوع C ومعرفة تأثير استخدام ثلاث ارتفاعات للهدار ومسافتين لأرضيه الحماية وكذلك تأثير استخدام ثلاث نسب لعرض المفاتيح خلال ظروف الجريان الحر وتحت الحرج ومن خلال هذه الدراسة تم التوصل الى مايلي:



شكل (19) علاقة نسبة عمق النحر  $D_s/H$  والطول الجانبي للهدار  $B/H$  الى ارتفاع الماء فوق الهدار عند  $L_b = 120$  سم و  $p=25$  سم

البيانو". رسالة ماجستير، قسم هندسة الموارد

المائية، كلية الهندسة، جامعة الموصل.

- [2] M. S. Ali., & T. Mansoor, Performance Evaluation of A Piano Key Weir.
- [3] H. Hamidifar , M. H. Omid, & M. Nasrabadi, (2011). Scour downstream of a rough rigid apron. World Applied Sciences Journal, 14(8), 1169-1178.
- [4] S. Jüstrich, , Pfister M. , & A. J. Schleiss, (2016). Mobile riverbed scour downstream of a piano key weir. Journal of Hydraulic Engineering, 142(11), 04016043.
- [5] S. Gohari, , & F. Ahmadi, (2019). Experimental Study of Downstream Scour of Piano Keys Weirs. Journal of Water and Soil Conservation, 26(1), 91-109.
- [6] B. Kumar, , & Z. Ahmad, (2020). Experimental study on scour downstream of a piano key weir with nose.
- [7] F. Lempérière, & A. Ouamane, (2003). The Piano Keys weir: a new cost-effective solution for spillways. International Journal on Hydropower & Dams, 10(5), 144-149.
- [8] T. U. N. Ç.Mustafa, , & M. Emiroğlu, The Influence of Bed Material Grain Size on Scouring for Labyrinth Side Weir Flow. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 7(2), 619-627.
- [9] M. L. Ribeiro, , M. Pfister, , A. J. Schleiss, , & J. L.Boillat, (2012). Hydraulic design of A-type piano key weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 50 (4), 400-408.

1- بتقليل التصريف وثبوت الارتفاع ونسبة العرض فان اعماق النحر تقل ولجميع التجارب حيث تراوحت النسبة المئوية لنقصان عمق النحر عند تقليل التصريف من (36 الى 15) لتر/ثا بصورة عامة بين (63-71.85)% ولجميع التجارب.

2- بزيادة نسبة عرض المفاتيح بثبوت التصريف والارتفاع يقل عمق النحر. وتراوحت النسبة المئوية للنقصان في عمق النحر بزيادة عرض المفاتيح من 1 الى 1.5 بين (47.38 -13.04) % ولجميع التجارب.

3- بنقصان ارتفاع الهدار بثبوت التصريف ونسبة عرض المفاتيح فان عمق النحر يقل ولجميع التجارب حيث تراوحت النسبة المئوية للنقصان بعمق النحر عند تقليل الارتفاع من 35سم الى 25سم بين (40.2-20) %

4- بزيادة طول ارضية الحماية فان اعماق النحر تقل ايضا ولجميع التجارب حيث تراوحت النسبة المئوية للنقصان بعمق النحر عند زيادة طول ارضية الحماية بنسبة 33.33% بين (2.17-28.75) %.

5- ادخلت البيانات في البرنامج الاحصائي (SPSS) وتم التوصل الى معادلة وضعية بدلالة

المتغيرات وبمعامل تحديد مقداره  $R^2=0.958$ .

$$\frac{D_s}{H} = 2.118 \frac{(Fr)^{1.441} \left(\frac{P}{L_b}\right)^{0.403} \left(\frac{B}{H}\right)^{0.815}}{\left(\frac{W_i}{W_o}\right)^{0.587} \left(\frac{Y_i}{H}\right)^{0.2} \left(\frac{L}{H}\right)^{0.19}}$$

المصادر:

[1] البياتي، بشرى محمد علي. (2014). "دراسة مختبرية لخصائص الجريان فوق الهدار مفتاح

## Experimental Study of Scour Downstream Piano Key Weir Type C with Changing Height of Weir Width of Keys and Apron Solid

Arwa Abd AL- Razzaq mla Obiada

[arwa.enp115@student.uomosul.edu.iq](mailto:arwa.enp115@student.uomosul.edu.iq)

Khalid Yaseen Taha

[K.taha@uomosul.edu.iq](mailto:K.taha@uomosul.edu.iq)

Ghania Ab AL- Majeed Hayaw

[dr.ghania.1956@gmail.com](mailto:dr.ghania.1956@gmail.com)

Dams and Water Resources Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul

### ABSTRACT

To find out mechanism scour downstream weirs and study effect changing ratio width of keys  $W_i/W_o$ , length of Apron solid and studying effect of changing the lateral length B on depth and length of the maximum scour by passing different discharge and using homogeneous soil. A laboratory study was conducted to measure depth of scour downstream piano key weir type C and to show effect height weir, ratio width of keys and length of apron solid. Three heights of weir (25,30,35) cm, three ratios of width keys (1,1.25,1.5) and two distances were used For apron solid (90,120) by passing four different discharges (15, 22, 29, 36) l/s in experiments, where number of models used nine models, on which (72) experiments were conducted. The depth of scour for all experiments that by reducing height weir, maintaining ratio width of the keys and discharge, scour decreases for all experiments. The results also showed that by increasing length of apron solid by 33.33%, the scour depth will be decreased by a rate ranging between (2.17-28.75)%. and that by increasing the percentage of the width keys from ratio (1) to ratio (1.5) scour depth decreases by a rate ranging between (13.04-47.38%) for all experiments, decreasing height of weirs from 35 cm to 25 cm, the percentage decrease scour depth ranged (20-40.2)%. To arrive at a positional equation in terms of variables and a coefficient of determination of  $R^2 = 0.958$ .

### Keywords:

scour, piano key weir type C, Apron Solid, uniform soil