

دراسة مختبرية للعوامل المؤثرة في النحر الناتج من ارتطام بثق الماء في حوض مذب مائي

د. يعرب إبراهيم سليمان* د. تحسين علي جلميران** د. إبراهيم عادل إبراهيم الحافظ***

الملخص

تُستخدم أحواض التهذئة في المنشآت الهيدروليكية لتشتيت الطاقة الهيدروليكية الناتجة عن إطلاق التصاريف ذات السرعة العالية من هذه المنشآت إلى مجرى النهر، وتتسبب هذه التصاريف -عادة- بحدوث مشكلات نحر في أرضية حوض التهذئة. إن شكل حفر النحر الحاصلة وعمقها لا يمكن تحديده بشكل دقيق وذلك لكثرة المتغيرات المؤثرة في عملية النحر هذه، ولأهمية هذا الموضوع أجريت دراسات وبحوث عديدة نظرية وتطبيقية لتحديد أبعاد مشكلات النحر الحاصلة أسفل المنشآت الهيدروليكية. هدف البحث الحالي إلى دراسة تأثير عوامل مختلفة ومنها زاوية انطلاق بثق الماء الخارج من منفذ سفلي في شكل النحر الحاصل وعمقه في حوض التهذئة؛ وذلك بإجراء تجارب على نموذج فيزيائي، وباستخدام زوايا انطلاق مختلفة للبثق الخارج، وهي (10°، 20°، 30°، 40°، 50°) وتصاريف مختلفة لكل زاوية؛ وذلك لاختيار أفضل زاوية انطلاق التي تتسبب في أقل ما يمكن من نحر. وقد أجريت خمس عشرة تجربة مختبرية وبثلاثة تصاريف مختارة وكان أكبر عمق نحر مسجل في التجارب جميعها هو (5.9) سم ويبعد (38) سم عن بداية الحوض عند استخدام الزاوية (10°) وتصريف يعادل (1.2) لتر / ثانية. وبيّنت نتائج البحث أن أفضل زاوية انطلاق لبثق الماء كانت (40°) من بين الزوايا التي استُخدمت حيث كان النحر فيها أقل من بقية الزوايا، وكذلك فإن حفرة النحر كانت أبعد عن بداية الحوض مما هي عليه عند استخدام الزاوية (50°).

الكلمات المفتاحية : النحر، حوض تهذئة، بثق ماء، منشآت هيدروليكية.

* مركز بحوث السدود والموارد المائية - جامعة الموصل.

** مركز بحوث السدود والموارد المائية - جامعة الموصل.

*** مركز بحوث السدود والموارد المائية - جامعة الموصل.

1. المقدمة

تستخدم أحواض التهدة (Plunge Pool) في المنشآت الهيدروليكية لتشتيت الطاقة الهيدروليكية الناتجة عن إطلاق التصاريف ذات السرعة العالية من هذه المنشآت إلى مجرى النهر. وتتسبب هذه التصاريف عادة بحدوث مشكلات نحر في أرضية حوض التهدة وبمسافات مختلفة عن المنشأ الهيدروليكي. وتطلق هذه التصاريف إما عن طريق المطافح (Spillways) أو عن طريق المنافذ السفلية (Bottom outlets) الخاصة بالمنشأ الهيدروليكي. وقد تستمر وتتطور مشكلات النحر هذه مع استمرارية عمل المنشأ وإطلاق التصاريف؛ مما يؤثر في كفاءة عمل هذا المنشأ ويهدد -في بعض من الحالات- استقرارية المنشأ الهيدروليكي، لذلك فإن من المحددات التي تدخل في تصميم أحواض التهدة تقليل عمق النحر وإبعاد مشكلات النحر أقصى ما يمكن عن أسس المنشأ الهيدروليكي للحفاظ على ديمومة عمل هذه المنشأ أطول مدة ممكنة.

وإن شكل حفر النحر الحاصلة في أرضية الأحواض وعمقها لا يمكن إلى الآن تحديدها بشكل دقيق لكثرة المتغيرات المؤثرة في عملية النحر هذه التي من أهمها: قيمة التصاريف المطلقة، الفرق ما بين مستوى الماء في الخزان ومستواه في حوض التهدة، أبعاد بثق الماء (Water Jet) الخارج من المنشأ الهيدروليكي وسرعته، عمق الماء في حوض التهدة (Tail Water)، زاوية انطلاق بفق وارتطامه الماء وطبيعة أرضية حوض التهدة. ولأهمية هذا الموضوع أجريت دراسات وبحوث نظرية وتطبيقية عديدة لتحديد أبعاد النحر الحاصلة أسفل المنشآت الهيدروليكية.

فقد قدم George W. et.al⁽¹⁾ ملخصاً عن المعادلات المستخدمة لاحتساب عمق النحر أسفل السدود في الولايات المتحدة الأمريكية التي يوجد فيها أكثر من

75000 سد. وذكروا أن أهم المعادلات التجريبية المستخدمة في حساب عمق النحر هي معادلة (Veronese 1937) ومعادلة (Yildiz Uzucek 1994) ومعادلة (Mason & Arumugan 1985).

معادلة (Veronese 1937) :

$$Y_s + Y_0 = 1.9 H^{0.225} q^{0.54} \quad (1)$$

إذ إن:

Y_s = عمق النحر (متر).

Y_0 = عمق الماء الذليل (متر).

H = فرق المستوى بين الخزان وسطح الماء الذليل (متر).

q = وحدة التصريف (م³/ثا/م).

ومعادلة (Yildiz Uzucek 1994) :

$$Y_s + Y_0 = 1.9 H^{0.225} q^{0.54} \cos \alpha \quad (2)$$

إذ إن:

α = زاوية سقوط بفق الماء.

وتعتمد هذه المعادلات على عدة متغيرات وهي الفرق بين مستوى الماء في الخزان والماء الذليل ووحدة التصريف المطلق وزاوية سقوط البثق ومتغير يمثل مواد القعر الخاصة بكل نهر.

وأشار A. Melih⁽²⁾ إلى أن عمق النحر الحاصل أسفل المنافذ بالمنشآت الهيدروليكية يعتمد على صفات البثق لحظة انطلاقه من المنشأ وعمق الماء الذليل ومواصفات مواد القعر. كما قام بتحليل العلاقة بين النحر الحاصل نتيجة التصاريف المطلقة وعوامل الأمان الخاصة بالمنشأ.

أوضحت نتائج الدراسة المقدمة من قبل Fedral Energy Regulatory Comm.⁽³⁾ والخاصة بتقدير عمق النحر المتوقع نتيجة ارتطام بفق الماء المطلق من المطافح والمنافذ السفلية التي اعتمدت على المعلومات والبيانات التي جمعت من حالات نحر مختلفة حاصلة

دائري ومنها المقدمة من قبل Arun Goel and Verma D. (7) ، في حين لا توجد تصاميم خاصة للمنفذ الأنبوبية التي هي بشكل مربع لذلك قام Arun Goel (8) بتقديم معادلات جديدة لتصميم أحواض التهدة الخاصة بالمنفذ ذات الشكل المربع، وهدفت الدراسة إلى اقتراح تصميم جديد وبطول أقل للحوض ويعمل بكفاءة أكبر مقارنة بالأحواض الأخرى.

ولدراسة مشكلة النحر الحاصل مؤخر المذب المائي في سد الموصل قدمت دراسة من قبل مركز بحوث السدود والموارد المائية ومركز دجلة لدراسات مشاريع الري وتصميمها (9) تضمنت إجراء تجارب متعددة على نموذج هيدروليكي نفذ لهذا الغرض وفي ضوء مسوحات تفصيلية لمنطقة الدراسة أجريت عام 1996. أشارت نتائج الدراسة إلى أن هناك تطوراً وزيادة واضحة في عمق النحر الحاصل وامتداده في أرضية حوض التهدة نتيجة لارتطام التصاريح المطلقة من المنفذين السفليين للسد وقد راح هذا النحر بين (5.85-11.71)م، وتضمنت الدراسة اقتراح عدد من المعالجات لتقليل مشكلة النحر.

هدف البحث الحالي إلى دراسة تأثير متغيرات مختلفة ومنها زاوية انطلاق بثق الماء في شكل النحر الحاصل وعمقه في حوض التهدة؛ وذلك بإجراء تجارب مختبرية متعددة وبزوايا انطلاق (10°، 20°، 30°، 40°، 50°) وبتصاريح مختلفة لاختيار أفضل زاوية التي تتسبب في حدوث أقل ما يمكن من مشكلات نحر في حوض المذب المائي.

2. العمل المختبري

إن تشتيت الطاقة باستخدام البثق المنطلق بشكل حر من المنفذ السفلي للمنشأ الهيدروليكي إلى حوض التهدة هي طريقة ذات كلفة قليلة نسبياً لتشتيت الطاقة في حالة عدم

أسفل المنشآت الهيدروليكية والسدود بأن عمق النحر يعتمد على سرعة البثق التي يدخل بها حوض التهدة، والزاوية التي يدخل بها البثق إلى الحوض، وعمق الماء عند نقطة الارتطام والخواص الفيزيائية لأرضية الحوض. وأوضحت البيانات الحقلية والمختبرية أن عملية النحر هذه ستستمر مع الوقت ولكن بنسب متناقصة.

وقام Noor Azlina et.al (4) بتصميم وتشغيل نموذج فيزيائي بغرض دراسة تأثير زاوية انطلاق بثق الماء من محطم الطاقة نوع (Flip Bucket) في شكل حفرة النحر وعمقها واختبرت هذه الدراسة نماذج مختلفة الزوايا لمحطم الطاقة وهي (10°، 20°، 30°، 45° و 60°) لاختيار أفضل زاوية. وبيّنت النتائج المختبرية بأن زاوية الانطلاق (45°) كانت أفضل زاوية حيث تسببت في أقل مساحة طولية لحفرة النحر من بين التجارب جميعها.

واعتمد Stefano P. et.al (5) في دراستهم على تجارب مختبرية سابقة أجريت في مختبرات (VAW) في زيورخ بسويسرا بغرض تعرف العوامل المؤثرة في النحر في أحواض التهدة وكذلك لتقديم علاقات رياضية تربط بين هذه العوامل التي قد تستخدم في تصاميم السدود وأحواض التهدة.

ولأهمية تأثير زاوية انطلاق بثق الماء في عمق النحر قام Dursun Yildiz (6) بإدخال تعديل على معادلة (Veronese 1937) لحساب أكبر عمق نحر ناتج من بثق ماء منطلق من (Flip Bucket)، وذلك بإدخال قيمة الزاوية إلى المعادلة وقام بحساب ثابت المعادلة المذكورة من خلال مجموعة من التجارب التي أجريت على مطح سد كيبان.

توجد تصاميم ونماذج مختلفة لأحواض التهدة التي نفذت لتشتيت الطاقة الناتجة من بثق ماء الخارج من أنبوب

قبل البدء بإجراء التجارب (بعد تثبيت فتحة بوابة المنفذ السفلي بحدود 65% للتجارب جميعها). وُضِعَ الخزان داخل القناة المختبرية بحيث كانت فتحة المنفذ السفلي واقعة في مركز القناة (أي مركز المنفذ السفلي يبعد مسافة 25سم من جانبي القناة).

كما تضمن النموذج حوضاً نقرش فيه خطه من الحصى الناعم والرمل مؤخر أنبوب المنفذ السفلي طوله (130)سم ويعرض القناة المختبرية (50)سم ويعمق (15)سم ويوضح الشكل (2) التدرج الحجمي للخليط المستخدم في التجارب جميعها. ويجري قبل تشغيل كل تجربة فرش التربة ورسها والتأكد من استوائها بواسطة الوزن ذي الفقاعة الهوائية.

أجريت بعد ذلك ثلاث مجموعات من التجارب كل مجموعة تتضمن خمس تجارب تشغل بالتصريف نفسه وزمن التشغيل نفسه (25) دقيقة مع تغيير زاوية انطلاق البفق (التيار المائي) فقط. كان مقدار التصريف المطلق من أنبوب المنفذ السفلي للمجموعة الأولى (1.6) لتر/ثا، في حين كان مقدار التصريف للمجموعة الثانية والثالثة (1.2 و 0.8) لتر/ثا على التوالي ويبيّن الجدول (1) المستويات المقابلة للتصريف الثلاثة المختارة ولكل زاوية.

الجدول (1) المستويات المقابلة للتصريف المختارة وبحسب زوايا الانطلاق المختلفة.

المنسوب في خزان النموذج (سم)					التصريف (لتر/ثا)
$\alpha 50^\circ$	$\alpha 40^\circ$	$\alpha 30^\circ$	$\alpha 20^\circ$	$\alpha 10^\circ$	
126.2	114.7	109.5	108	101	1.6
89	83.4	79.4	75.2	69.5	1.2
53	52.1	49.3	42.6	37.7	0.8

واختير وقت التشغيل 25 دقيقة بعد ملاحظة استقرار عملية النحر عند هذا الوقت في التجارب الثلاث الأولى التي أجريت باستخدام التصريف (1.6) لتر/ثا. وبغرض عدم إدخال تأثير عمق الماء الذيلي كمتغير مؤثر في عملية النحر في تجارب هذا البحث فقد تُبِتَ بمستوى

حدوث مشكلات نحر مستقبلية، وبعبارة فإن الأضرار الناتجة بسبب هذا البفق ستكون معالجتها مكلفة جداً وخصوصاً بعد انتهاء تنفيذ المنشأ وتشغيله. وبغرض دراسة تأثير زاوية انطلاق (Takeoff Angle) بفق الماء في شكل النحر الحاصل وعمقه في حوض التهدئة أسفل المنفذ السفلي أجريت خمس عشرة تجربة مختبرية في مختبر الهيدروليك لمركز بحوث السدود والموارد المائية في جامعة الموصل وبزوايا انطلاق (10° ، 20° ، 30° ، 40° ، 50°)، ولم تُدرَسْ زوايا أكبر من هذه الزوايا لتجنب اقتراب مشكلات النحر من أسس المنشأ الهيدروليكي كلما زادت زاوية الانطلاق. استخدمت قناة مختبرية ذات جوانب زجاجية شفافة يبلغ طولها 10 أمتار وعرضها 50سم وارتفاع جوانب القناة 60سم مجهزة بخزانات مياه أرضية متعددة لتجهيز المياه اللازمة لإجراء التجارب.

صنع نموذج فيزيائي لتمثيل عملية انطلاق بفق الماء من المنفذ السفلي وبزوايا انطلاق مختلفة. ويتضمن خزان ماء مصنع من معدن غير قابل للصدأ بأبعاد (47*100*150) سم ثبت في إحدى جهاته المنفذ السفلي، وهو أنبوب بقطر (3.125) سم وبطول (20) سم، ومثبت في بدايته بوابة للتحكم بالتصريف المطلق ومثبت في الجهة الأخرى من الخزان أنبوب بقطر (5)سم مع بوابة للمحافظة على استقرار مستوى الماء في الخزان في أثناء إجراء التجارب، ويُلاحَظُ مستوى الماء في الخزان عن طريق أنبوب بلاستيكي شفاف خارج من الخزان ومسطرة مدرجة مثبتة لهذا الغرض، والشكل (1) يبيّن مخططاً للقناة المختبرية والنموذج الفيزيائي المثبت داخل القناة.

تُبِتَت مضخة خارجية بتصريف (110) لتر/دقيقة لتجهيز خزان النموذج بالمياه في أثناء إجراء التجارب. وقد أجريت معايرة للتصريف وللزوايا المختارة جميعها

واحد للتجارب جميعها وكان مقداره (7) سم. وفي بداية كل تجربة يُمرَّرُ التصريف الخارج من المنفذ السفلي للنموذج من خلال أنبوب بلاستيكي إلى ما بعد حوض المذب المائي، وذلك للحفاظ على شكل الحوض إلى حين الوصول إلى التصريف والمستوى المطلوب للتجربة، وبشكل مستقر يُرْفَعُ بعدها هذا الأنبوب البلاستيكي بشكل سريع ويُحَسَبُ وقت إجراء التجربة.

الجدول (2) بيانات التجارب المختبرية المختبرية

1.6					1.2					0.8					التصريف (لتر/ثا)
50	40	30	20	10	50	40	30	20	10	50	40	30	20	10	زاوية الانطلاق
36	30	26	26	25	31	25	26	24	23	22	20	20	19	19	عرض حفرة النحر من المنتصف (سم)
3.8	4	4	5.2	5.5	3.6	4.3	4.8	5.2	5.9	2.8	2.6	4.5	3.6	5	أكبر عمق نحر (سم)
31	46	48	42	42	26	33	34	36	38	14	14	24	26	26	بعده عن البداية (سم)
37	40	44	38	29	25	28	28	29	24	15	16	20	18	16	طول البثق (سم)
20	16	10	8	5	17	12	9	8	5	13	10	8	6	5	معدل عرض البثق (سم)

وبزاوية 50° و (44) سم (عند تصريف 1.6 لتر/ثا ويزاوية 30°)، في حين كان أقل معدل عرض للبثق عند نقطة الارتطام مسجل خلال التجارب جميعها هو (5) سم وذلك (عند زاوية 10° وللتصريف جميعها) ويزداد تدريجياً عند كل تصريف بزيادة زاوية انطلاق البثق وأكبر معدل عرض للبثق مسجل هو (20) سم (عند زاوية 50° وتصريف 1.6 لتر/ثا)، ويبين الجدول (2) البيانات الخاصة بعرض حفرة النحر وأكبر عمق نحر وبعده عن بداية الحوض وطول البثق للتجارب المختبرية جميعها.

ويتضح من الجدول أن أكبر عمق نحر مسجل في التجارب جميعها كان بمقدار (5.9) سم وبعده (38) سم عن بداية الحوض؛ وذلك عند استخدام الزاوية (10°) وتصريف (1.2) لتر/ثا ولتوضيح شكل النحر والترسيب الحاصل في حوض المذب المائي بعد هذه التجربة رسم

وخلال تشغيل كل تجربة من التجارب يقاس طول البثق ومعدل عرضه وزاوية ارتطام البثق مع الماء الذيلي، وبعد التشغيل يقاس عرض حفرة النحر من الوسط (اعرض مكان) وتُمسحُ أرضية حوض التهدة بشكل شبكة، ثلاثة محاور طولية الأول في مركز الحوض والثاني والثالث على جانبي خط المركز بمسافة تعتمد على عرض حفرة النحر وخطوط عرضية المسافة بينهما (2) سم لتحديد شكل حفرة النحر وأبعادها وإيجاد أعماق نقطة وقياس بعدها عن بداية الحوض ومقارنة شكل النحر الحاصل بين التجارب المختلفة، والصور (1و2) توضح العمل المختبري في أثناء إجراء التجارب المختبرية، وتبين زاوية انطلاق البثق وارتطامه بحوض التهدة.

3. النتائج والمناقشة

تراوح طول البثق الخارج من المنفذ السفلي خلال التجارب جميعها بين (15) سم (عند تصريف 0.8 لتر/ثا

الشكل (3) الذي يبيّن الحوض بشكل ثلاثي الأبعاد والخطوط الكنتورية الممثلة لأعماق النحر والترسيب. يوضّح الشكل (4) العلاقة بين زاوية انطلاق بفق الماء وزاوية سقوط بفق الماء، ويتبيّن من الشكل إن زاوية السقوط تتناسب طردياً مع زاوية الانطلاق للتصريف المستخدم نفسه وعكسياً مع التصريف عند ثبات زاوية الانطلاق، وكانت أعلى زاوية سقوط مسجلة (73.5°) عند تصريف (0.8) لتر/ثا.

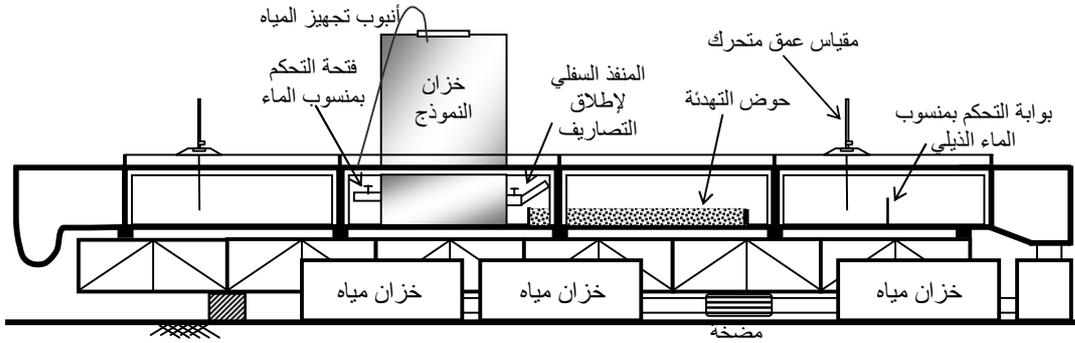
من خلال نتائج مسح أرضية الحوض تبين أن أقل طول لحفرة النحر المسجل ولكل مجموعة من التجارب كان عند استخدام لزاوية (40°) لانطلاق البفق، وكما يوضح الشكل (5) أن طول حفر النحر المسجلة عند استخدام الزاوية (50°) كان أكبر ولكن بنسب قليلة من المسجلة عند الزاوية (40°).

وكما هو معروف فإنّ حفرة النحر الناتجة من ارتطام بفق الماء في الأرضية تتباعد تدريجياً كلما زاد التصريف المطلق بسبب زيادة سرعة المياه لقطر الأنبوب المستخدم نفسه وهذا عند ثبات زاوية الانطلاق، ويوضّح الشكل (6) ذلك عند استخدام زاوية (30°) كنموذج مختار من الزوايا، حيث كان بعد أعماق نقطة نحر من بداية الحوض يساوي (24، 34، 48) سم، وذلك عند استخدام التصاريف (0.8، 1.2، 1.6) لتر/ثا على التوالي. يبيّن الشكل (7 أ، ب، ج) شكل المقطع الطولي لحفرة النحر في المحور الوسطي لحوض المذب المائي، وعند جميع التصاريف المستخدمة والحاصل نتيجة ارتطام بفق الماء بأرضية الحوض ولزوايا الانطلاق المستخدمة خلال التجارب جميعها. ويوضّح الشكل أن أكبر وأعماق حفرة نحر كانت عند استخدام الزاوية (10°) ولتصارييف لجميعها ويتناقص حجم الحفرة وعمقها تدريجياً مع زيادة درجة الانطلاق ويتقارب عمق حفرة النحر عند الزاويتين (40° و 50°) بشكل كبير، ولكن حفرة النحر عند

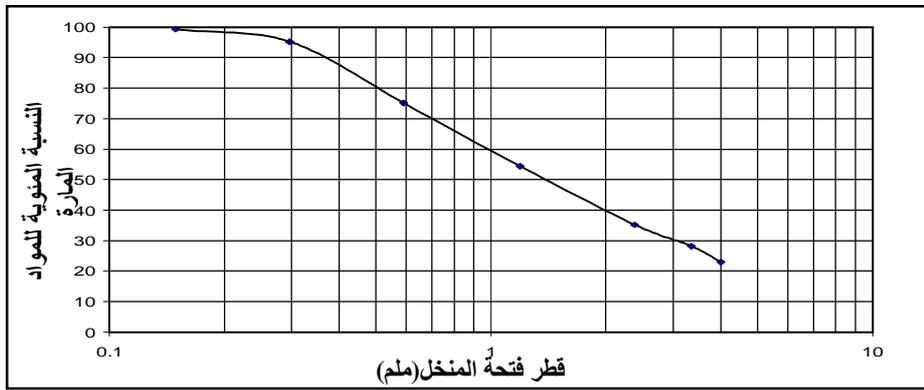
استخدام زاوية (50°) تقترب بشكل واضح إلى بداية حوض التهذئة (إلى المنشأ الهيدروليكي) وخصوصاً عند استخدام تصريف (1.6) لتر/ثا (الشكل 7 جـ). حيث تقترب بداية حفرة النحر عند استخدام الزاوية (50°) عمماً هي عليه عند استخدام الزاوية (40°) وبمسافة (4، 6، 16) سم وللتصارييف (0.8، 1.2، 1.6) لتر/ثا وعلى التوالي، وهذا ما يعني اقتراب حفرة النحر تدريجياً مع زيادة التصريف المطلق إلى منشأ المذب المائي؛ مما يهدد المنشأ وأسس المنشأ مستقبلاً.

وبيّن الجدول (2) بأنّ بعد أكبر عمق لحفرة النحر عن بداية حوض المذب المائي عند استخدام الزاوية (40°) كان مساوياً إلى (33، 46) سم وللتصارييف (1.2، 1.6) لتر/ثا وعلى التوالي، في حين أصبح هذا البعد عند استخدام الزاوية (50°) هو (26، 31) سم على التوالي أيّ إنه اقترب إلى البداية (7) سم عند التصريف (1.2) و (15) سم عند التصريف (1.6) لتر/ثا.

مما تقدم يتبيّن أنّ أفضل زاوية انطلاق لبفق الماء كانت (40°) من بين الزوايا التي استخدمت في هذا البحث، لذا يقترح الباحث اعتماد هذه الزاوية عند تنفيذ المنشآت الهيدروليكية بغرض تقليل مشكلات النحر وإبعادها عن أسس المنشأ مستقبلاً قدر الإمكان، حيث كان النحر المقيس خلال التجارب التي أجريت في هذا البحث عند هذه الزاوية أقل من بقية الزوايا بحدود (15-40)% من العمق الكلي، وكذلك كان بعد أعماق نقطة في حفرة النحر عن بداية الحوض بمقدار (14، 33 و 46) سم عند التصارييف (0.8، 1.2 و 1.6) لتر/ثا على التوالي، وكذلك فإنّ خطورة حفرة النحر كانت أبعد عن بداية الحوض مما هي عليه عند استخدام الزاوية (50°).



الشكل (1) مخطط القناة المختبرية والنموذج الخاص بالبحث

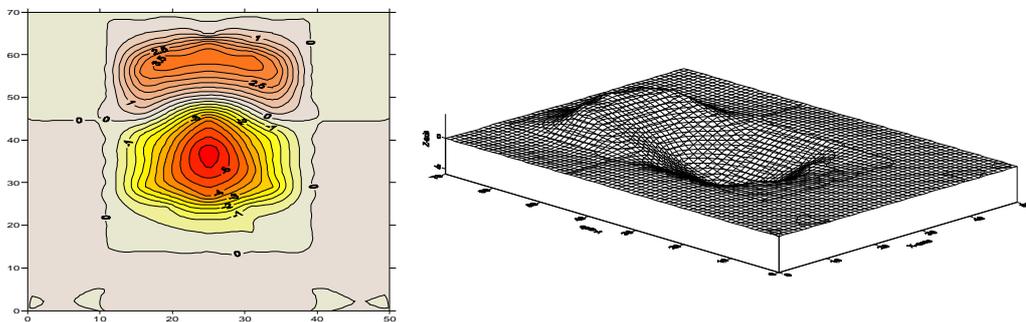


الشكل (2) التحليل المنخلي للرمل المستخدم

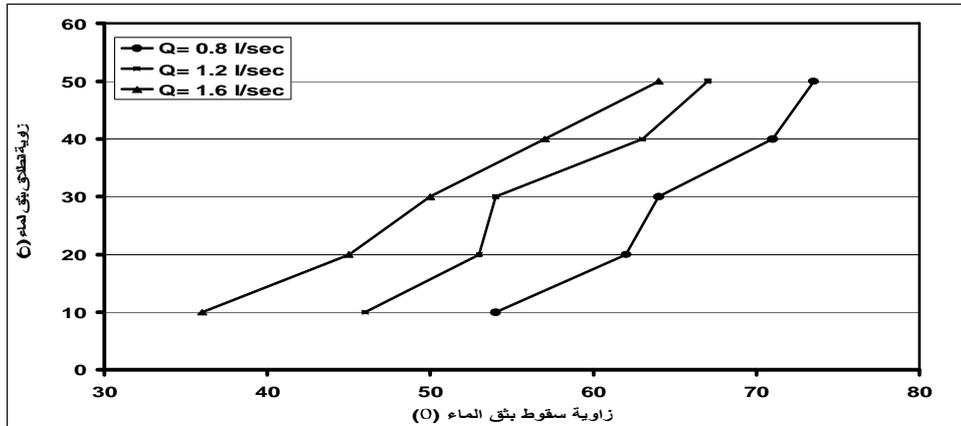


الصورة (2)

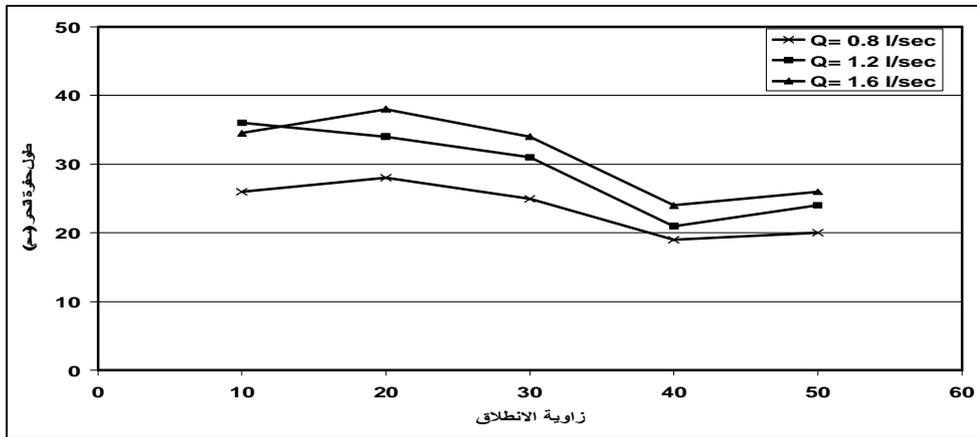
الصورة (1)



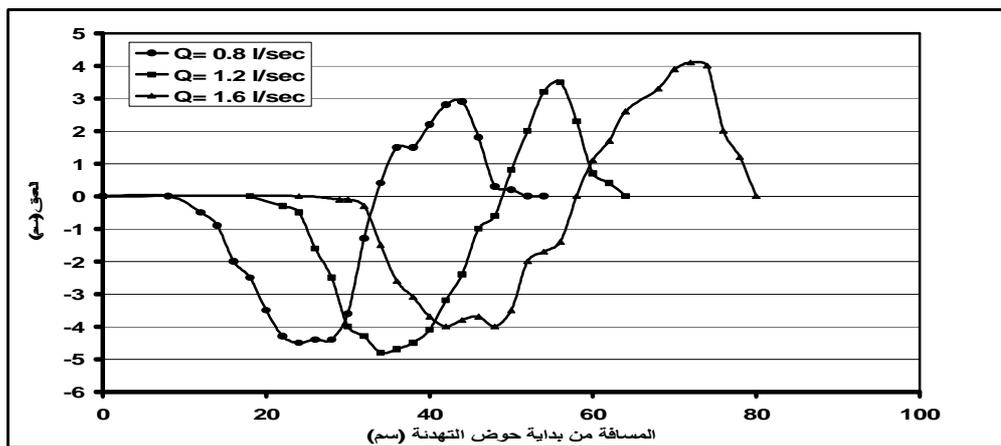
الشكل (3) النحر والترسيب الحاصل في حوض المذب المائي بعد إجراء التجربة باستخدام زاوية انطلاق (10°) وتصريف (1.2) لتر/ثا.



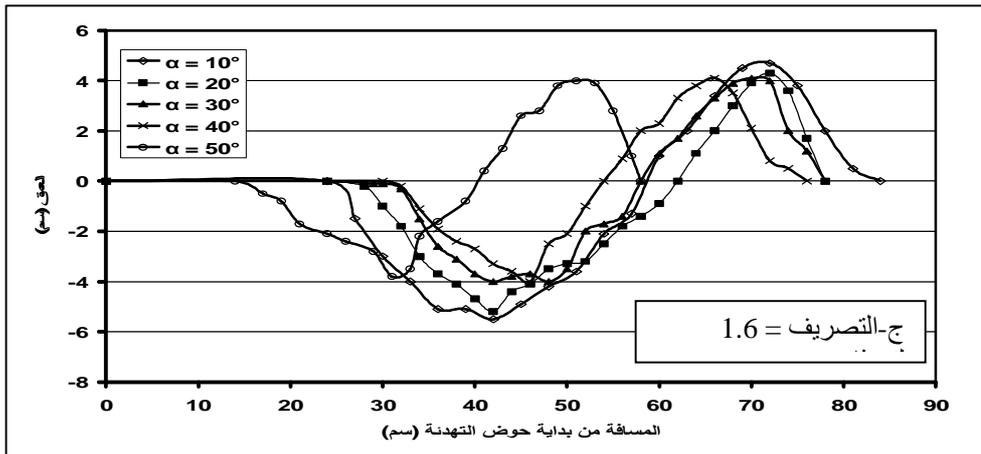
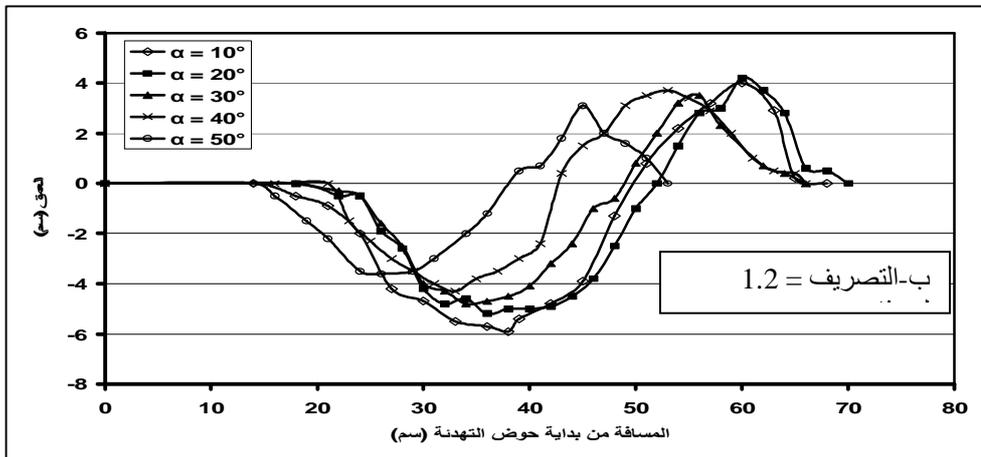
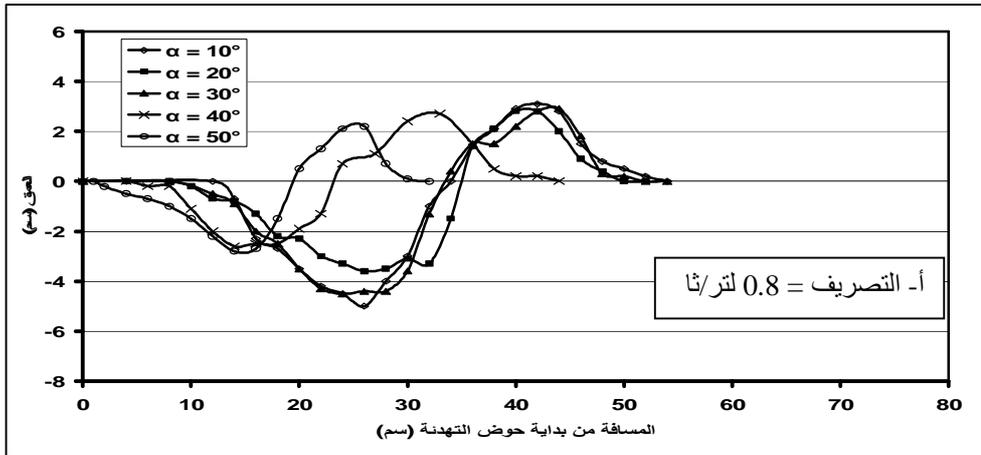
الشكل (4) العلاقة بين زاوية انطلاق بفق الماء وزاوية السقوط للتجارب المخبرية جميعها



الشكل (5) تغاير طول حفرة النحر المقيس مع زاوية الانطلاق والتصريف



الشكل (6) المقطع الطولي لحفرة النحر في منتصف حوض التهدة للتصريف جميعها عند الزاوية 30°



الشكل (7) المقطع الطولي لحفرة النحر في المحور الوسطي لأرضية حوض التهئة وبحسب زوايا الانطلاق والتصريف المثبتة.

المراجع:

- 1- George W. Annadale, Rodney Wittler and Greg A. Scott, "Scour downstream of dams", Symposium on scour of foundations, International Society of Soil Mech. And Geotechnical Engineering, Melbourne, Australia, Nov. 19, 2000.
- 2- A. Melih Yanmaz, "Reliability Simulation of Scouring Downstream of Outlet Facilities", Turkish J. of Eng. Env. Sci. Turkey, No. 27, 2003.
- 3- Federal Energy Regulatory Commission, Division of Dam Safety and inspection, "Engineering guide Lines for the Evaluation of Hydropower Projects", Chapter 11, Washington, Dc 204026, October 1999.
- 4- Nor Azlina Alias, Thamer A. Mohamed, A. Mohamed, Abdul H. Ghazali, and Megat J. Megat, "Impact of Takeoff angle of Bucket Type Energy dissipater on scour Hole", American Journal Of Applied Sciences, 5 (2), 2008, pp 117-121.
- 5- Stefano Pagliara, Willi H. Hager and Hans E. Minor, "Plunge Pool Scoure in Prototype and Laboratory", Hydraulics of Dams and River Structures, Yardandoost and Attari (eds), Taylor and Francis Group, London 2004. pp165-173
- 6- Dursun Yildiz, "Scour depth prediction from free falling bucket jets", Digest 96, December 1996, pp 393-397.
- 7- Arun Goel and Verma, D.V.S., " Alternate design of Stilling Basin for pipe outlets", Journal of Irrigation and Drainage System, Springer, Vol. 20, No.3, 2006, pp 139-150.
- 8- Arun Goel, "Designing Stilling Basins", International Water Power and Dam Construction, Wilmington Media Ltd. , 2007.
- 9- مركز بحوث السدود والموارد المائية - جامعة الموصل ومركز دجلة لدراسات وتصاميم مشاريع الري - وزارة الري، "النموذج الهيدروليكي للمنافذ السفلى وحوض المذب المائي لسد الموصل"، التقرير النهائي، 1997.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/1/30.