تأثير تدرج الحماية الحجرية على النحر الموضعي حول دعامات الجسور

منار سفر الياس ميخائيل الصفار
قسم هندسة الموارد المائية

الدكتور خالد صديق الشيخ علي
قسم هندسة الموارد المائية

الخلاصة

في هذا البحث تم دراسة تأثير تدرج حجر الحماية على النحر الموضعي حول دعامات الجسور بقناة مختبرية وبظروف الماء الصافي. أجريت التجارب على دعامات اسطوانية وشبه اسطوانية أقطارها وعرضها (٥٧، ٩٠، ١٤٠) ملم على التوالي. واستخدمت خمس مزجاة من الحجر المكسر بتدرجات مختلفة وبمتوسط قطر واحد قدره (٢.٨٣) ملم. كما ثبت عمق الجريان المقترب لكل التصاريف التي مررت في القناة والتي تراوحت بين (١٦) لتر/ثا و (٢٤) لتر/ثا. أكدت نتائج التجارب أهمية تدرج حجر الحماية حول دعامات الجسور لحمايتها من النحر الموضعي وانه عامل مهم في زيادة استقراريتها. كما تم الحصول على علاقة لحساب رقم فرود لبداية الفشل (F_{ro}) بدلالة مربع الانحراف المعياري الهندسي $(\sigma g)^2$ لحجر الحماية والنسبة بين عرض الدعامة الى معدل عمق الجريان (b/y) ومعامل شكل الدعامة (k) وبمعامل تحديد قدره (٠.٨٢).

الكلمات الدالة: النحر، حجر الحماية، دعامات الجسور.

Riprap Gradation Effect On Local Scour Around Bridge Piers

Manar Safar Alyas Michael Al-Saffar
Dept. of Water Resources Eng.

Dr. Khalid Saddiq Al-Shaikh-Ali
Asst. Prof. Dept. of Water Resources

Abstract

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

In this paper, an experimental flume study was carried out on riprap gradation effects on local scour around bridge piers under clear water condition . Experiments were performed on circular and semi-circular piers having diameters and widths of (57, 90, 140) mm, respectively. Five mixtures of riprap were used having different gradations and the same mean grain size of (2.83) mm. The approach depth was maintained constant for all discharges which ranged between (16) l/s to (24) l/s .

Experimental results indicated the importance of riprap gradation around bridge piers and that it is an important factor on its stability. Furthermore a formula for determining Froude number (F_{ro}) at the threshold of riprap failure in terms of the variance of riprap, $(\sigma g)^2$, the ratio between pier width to the average flow depth (b/y), and pier shape factor (k), with (R^2= 0.82) was obtained.

Subject headings: Scour, Riprap, Bridge piers.

أستلم في 2006/5/10 قبل في 2007/6/10

المقدمة:

إن الدعامات التي تقام عليها الجسور تحدث تغييراً في خواص الجريان بالأنهار الرسوبية مما يؤدي الى نحر مادة القعر، وقد تنهار إذا تعدى النحر اسس الدعامات. ومثال على ذلك هو إنهيار أربعة عشر جسراً في الولايات المتحدة الأمريكية في فيضانات عام (١٩٣٠) بسبب ذلك (Dunham ١٩٥٠). اعتمد المهندسون على وسيلتين أساسيتين هما التدريع حول الدعامة أو توجيه الجريان بعيداً عنها لمنع أو التقليل من إنهيارها بسبب النحر بشكل عام والنحر الموضعي بشكل خاص.

لقد استخدم الحجر المكسر (Riprap) للتدريع وجرت دراسات وبحوث تناولت موضوع الحماية الحجرية حول دعامات الجسور بشكل عام من حيث مواصفات حجر الحماية وحساب قطره وامتداد وسمك طبقة الحماية حول دعامات الجسور وأنواع الفشل الذي يحدث في هذه الطبقة والعوامل المؤثرة على ذلك. مواصفات حجر الحماية ذكرت في سايمونز وشنتورك (Simons and Senturk ١٩٧٦) كما وردت في كتيب للتصميم الهيدروليكي لقنوات الحماية من الفيضان (USCOE ١٩٩١) وفي دعوة لتقديم عطاء لمشروع حماية جدول في كولورادو من الفيضان (DACE ٢٠٠٣).

www.manaraa.com

البحوث التي تناولت موضوع تصميم طبقة الحماية الحجرية حول دعامات الجسور تلك التي أجراها انجلس (Engels ١٩٢٩)، وروبرتسون (Robertson ١٩٢٩)، وانكلس واخرون (Inglis et. al. ١٩٤٢)، واي وينك (Ewing ١٩٤٧)، وأبل (Appel ١٩٥٠)، وبوزي واخرون (Posey et. al. ١٩٥١)، ودي سوسا و نيلسون (De Sousa & Nelson ١٩٥٩)، ومازا و سانشيز (Maza & Sanchez ١٩٦٤)، كما ورد في شين (Shen ١٩٧١)، وكيلز (Gales ١٩٣٨)، وبوناسونداس (Bonasoundas ١٩٧٣)، ونيل (Neill ١٩٧٣) وبوزي (Posey ١٩٧٤)، وبروسرز وأخرون (Breusers et. al. ١٩٧٤)، وريجاردسون واخرون (Richardson et. al. ١٩٩١) وبارولا (Parola ١٩٩٥) كما ورد في جيو (Chiew ١٩٩٥)، وتقرير محطة تجارب مهندسي الممرات المائية التابعة للجيش الأمريكي (USAEWES ١٩٧٤) كما ورد في (SP ١٩٩٨)، وفي كتيب للتصميم الهيدروليكي لقنوات الحماية من الفيضان (USCOE ١٩٩١)، ونيل (Neill ١٩٦٧)، وكوازي و بيترسون (Quazi & Peterson ١٩٧٣)، وبروسرز ورادكيفي (Breusers & Raudkivi ١٩٩١)، وريجاردسون (Richardson ١٩٩٥) كما ورد في جوي واخرون (Choi, et. al. ٢٠٠٢)، وماينورد (Maynord ١٩٩٨)، و جيو (Chiew ٢٠٠٤).

أما فيما يتعلق بأنواع الفشل الذي يحدث في طبقة الحماية حول الدعامة فالبحوث التي أجراها برايس واخرون (Brice et. al. ١٩٧٨)، وكرود (Croad ١٩٩٣)، ولم و جيو (Lim & Chiew ١٩٩٦ و Lim & Chiew ١٩٩٧)، ولم (Lim ١٩٩٨) كما ورد في لم وجيو (Lim & Chiew ٢٠٠١)، وجيو (Chiew ١٩٩٥)، و جيو ولم (Chiew & Lim ٢٠٠٠)، ولاوجلان وملفل (Lauchlan & Melville ٢٠٠١)، وجيو (Chiew ٢٠٠٤)، كلها أمثلة على ذلك.

والتدرج المطلوب توفره في حجر الحماية من النحر الموضعي على جوانب وقعر القنوات أو في أحواض التهدئة فقد ورد في كتيب للتصميم الهيدروليكي لقنوات الحماية من الفيضان (USCOE ١٩٩١)، و كذلك في (SP ١٩٩٨) وفي دعوة لتقديم عطاء لمشروع حماية جدول في كولورادو من الفيضان (DACE ٢٠٠٣).

يلاحظ مما سبق عدم وجود أي دراسة حول تأثير تدرج الحماية الحجرية على النحر الموضعي حول دعامات الجسور، لذلك فإن الهدف الأساس من هذا البحث هو معرفة تأثير تدرج الحجر على إستقرارية طبقة الحماية عند إستخدامها حول دعامات الجسور لحمايتها من النحر الموضعي والى أي مدى يمكن لهذا التدرج أن يكون فاعلاً في ذلك وبظروف هيدروليكية مختلفة.

العمل المختبري:

تم إجراء (١٣٣) تجربة، (١٠٣) منها لمعرفة مدى مقاومة طبقة الحماية الحجرية حول الدعامة وكانت موزعة على (٦) نماذج من دعامات الجسور وخمسة تدرجات من حجر الحماية ولتصاريف مختلفة للجريان. أما التجارب الثلاثين الاخرى فقد اجريت على الرمل الذي فرش على جزء من القناة وقبل وضع طبقة الحماية حول الدعامة وذلك لمعرفة امتداد حفرة النحر حولها ولكل نموذج من نماذج الدعامات الستة. القناة المستخدمة في إجراء التجارب كانت بنظام جريان استرجاعي وتفاصيلها موضحة في الشكل (١). تم استخدام شكلين من نماذج الدعامات أبعادها موضحة في الشكل (٢). حجر الحماية المستخدم وزنه النوعي (٢.٥٥) فصل بواسطة مناخل قياسية إلى خمسة أقطار تقع بين (١.٠-١.٦٨) و (١.٦٨-٢.٣٦) و (٢.٣٦-٢.٨٣) و (٢.٨٣-٤.٠) و (٤.٠-٤.٧٦) ملم، وكان متوسط قطره (d_{r50}) هو(٢.٨٣) ملم. بعد ذلك تم تحضير خمس مزجات، كل مزجة احتوت على نسب وزنية مختلفة لتحديد تدرجات الحجر من

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

كل قطر من الأقطار المذكورة انفا وللحصول على مربع إنحراف معياري $(\sigma_g)^2$ **تختلف لكل** مزجة وكما مبين في الجدول (١). **علماً أن** $(\sigma_g)^2$ تم حسابه باستخدام المعادلة التالية:

$$(\sqrt{\frac{d_{84.1}}{d_{15..9}}})^2$$

$$(\sigma_g)^2=$$

وفي الشكل (٣) تم تمثيل كل مزجة بمنحني تراكمي على أساس الوزن.

الجدول (١) نسبة الأقطار للمزجات الخمس من حجر الحماية على أساس الوزن

مدى قطر المنخل (ملم)	المزجة الخامسة $(\sigma_g)^2$=٢.٦١	المزجة الرابعة $(\sigma_g)^2$=٢.٤٧	المزجة الثالثة $(\sigma_g)^2$=٢.٢٦	المزجة الثانية $(\sigma_g)^2$=١.٩٠	المزجة الاولى $(\sigma_g)^2$=١.٨٠
	النسب المئوية للحجر المتبقي (%)				
-١.٠٠ ١.٦٨	٢٥	٢٠	١٥	١٠	٥
-١.٦٨ ٢.٣٦	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠
-٢.٣٦ ٢.٨٣	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٣٥
-٢.٨٣ ٤.٠٠	٤٥	٤٠	٣٥	٣٠	٢٥
-٤.٠٠ ٤.٧٦	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥

استخدم الرمل النهري المغسول كمادة للقعر وكان متوسط قطر حبيباته (d_{s50}) يساوي (٠.٣٨) **ملم**. وضعت القناة ليكون قعرها افقياً وفرش الرمل في القناة **بعمق** (٠.١٥) متر في المسافة المعدة لذلك وسوي ليكون مواز لقعرها ووضعت وسائل التهدئة في مقدم ومؤخر القناة فضلاً عن وسائل تمنع حدوث النحر في بداية المسافة الرملية، كما مبين في الشكل (١) **ولتكون منطقة التجارب على امتداد** (٢.٧٥) **متر فقط**. يوضع النموذج الأول من الدعامات في منتصف المسافة بين جانبي القناة وعلى مسافة (١.٨٥) متر من مقدم منطقة التجارب و (٠.٩) **متر من** مؤخرها ويعاد تسوية الرمل المزاح على طول منطقة التجارب، ثم تشغل المضخة ويبدأ بفتح صمام التجهيز تدريجياً إلى أن يتم الحصول على التصريف الأولي المطلوب في التجربة الاولى **والبالغ** (١٦) **لتر**/ثانية بحيث يكون عمق الجريان المقترب (٨) **سم**، وهو العمق الثابت لجميع

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

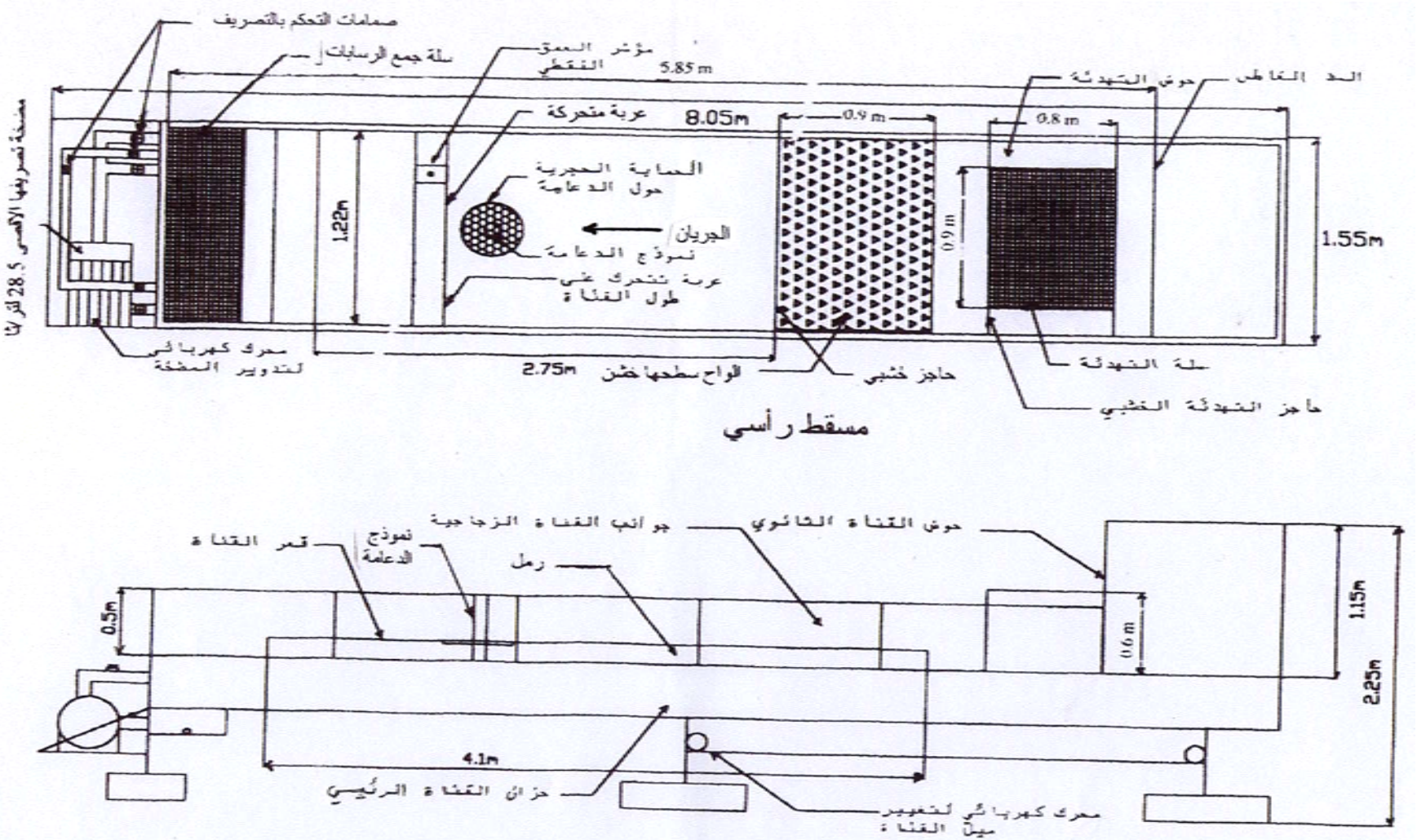
التصاريف في التجارب اللاحقة، وبعدها يترك الجريان لمدة ساعتين ثم يزاد التصريف الأولي (٢) لتر/ثا حتى نصل الى أعلى تصريف (٢٤) لتر/ثا، كما يترك الجريان لمدة ساعتين بعد كل زيادة في التصريف، وبعد إكتمال إمرار التصاريف الخمسة، يبزل الماء ويقاس عمق وامتداد النحر حول الدعامة ويكرر ما سبق مع بقية النماذج الخمسة للدعامات وبذلك تكتمل التجارب للمت الاولى.

من التجارب الاولى تبين بأن تأثير الدعامة على النحر الموضعي يمكن تحديده بمقدار (b٢) عن جدار الدعامة من جميع الاتجاهات ليصبح عرض طبقة الحماية (C_r=b٥) إذ أن (b) هو قطر الدعامات الاسطوانية أو عرض الدعامات شبه الاسطوانية وهذا أيضا مماثل لما توصل اليه الباحثون السابقون أمثال لم وجيو (Lim and Chiew ٢٠٠١). بعد تثبيت النموذج الأول من الدعامة وإزاحة الرمل من مساحة تأثير الدعامة تغطى هذه المساحة بالمزجة الاولى من حجر الحماية بسمك (t) (٢d_{r50} ≈ ٦) ملم وهذا السمك يقع ضمن الحدود التي اقترحت في (USCOE ١٩٩١). بعد ذلك يطلق التصريف الأول (١٦لتر/ ثا) وتراقب استقرارية حجر الحماية حول الدعامة، وإذا حدثت حركة في الحجر المكون لها تدل على بدء نحره عندها يكون هذا التصريف هو الذي تسبب ببداية فشلها، والا فيزاد التصريف (٢) لتر/ثا كل مرة حتى نصل الى التصريف الذي يسبب بداية فشل طبقة الحماية. تجرى التجارب على بقية المزجات الخمس من حجر الحماية بنفس طريقة المزجة الاولى وبذلك يتم تغطية جميع التجارب للنموذج الأول من الدعامة. تكرر كل التجارب التي تمت على حجر الحماية وبنفس التتابع السابق للنماذج الخمسة المتبقية من الدعامات وبذلك يكون عدد التجارب التي اجريت حول استقرارية حجر الحماية (١٠٣) تجربة.

تم قياس التصريف بواسطة سد غاطس ذو ثلمة مثلثة يقع في مقدم القناة بعد أن اجريت له معايرة بالطريقة الحجمية (volumetric method) واعتمدت التصاريف المقاسة منه لحساب سرعة الجريان.

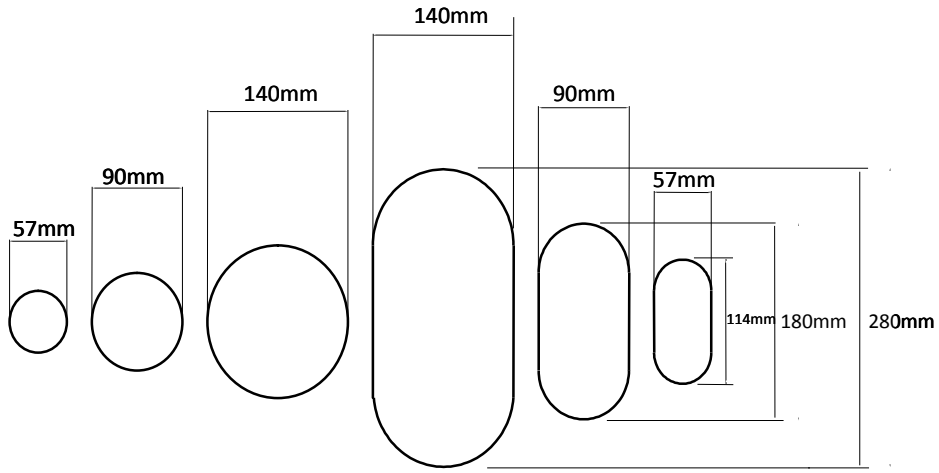
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المنارة للاستشارات

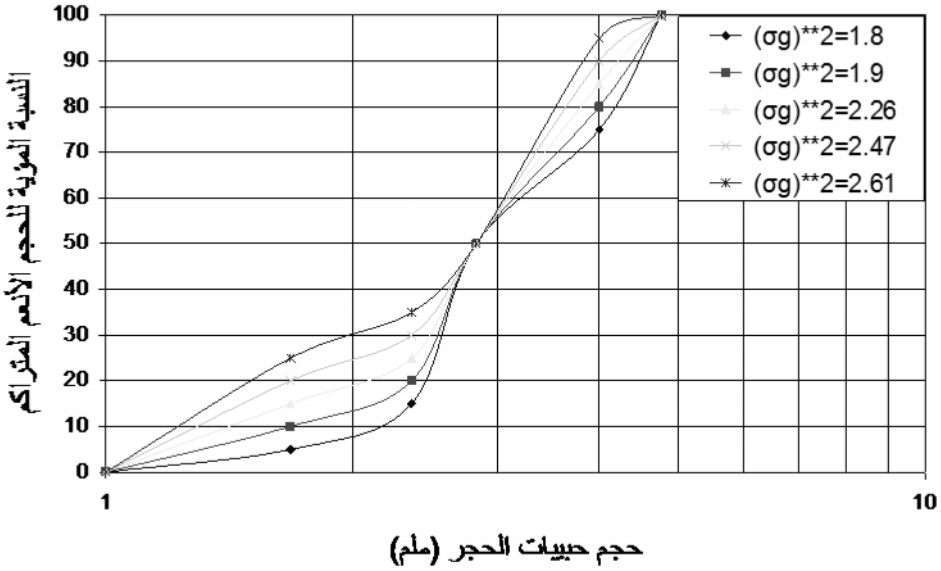


الشكل (١) رسم القناة التخطيطي

www.manaraa.com



الشكل (٢) مخطط يبين ابعاد الدعامات



الشكل (٣) المنحنيات التراكمية التي تمثل المزجات الخمس

النتائج والمناقشة :

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

إن ظاهرة النحر حول دعامة الجسر تعتمد على مجموعة من المتغيرات. هذه المتغيرات ادخلت في طريقة التحليل البعدي فتم الحصول على العلاقة التالية:

$$Failure = f(\frac{L}{y}, \frac{b}{y}, \frac{d_{r50}}{y} F_{ro}, R_e, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{d_{s50}}{y}, \frac{\rho_r}{\rho_w}, \frac{t}{y}, \frac{c_r}{y}, (\sigma_g)^2, k) \quad .....(١)$$

بعد إهمال تأثير رقم رينولدز والنسب الثابتة الواردة سابقاً تختصر المعادلة (١) إلى ما يلي:

$$Failure = f(F_{ro}, (\sigma_g)^2, k, \frac{b}{y}, \frac{c_r}{y}, \frac{L}{y}) \quad .....(٢)$$

والجدولان (٢) و(٣) نموذجين لقيم الحدود اللابعدية المؤثرة على فشل طبقة الحماية حول الدعامات الاسطوانية وشبه الاسطوانية، على التوالي.

الجدول (٢) قيم الحدود اللابعدية المؤثرة على فشل طبقة الحماية حول الدعامات الاسطوانية

* $M_{1,(b)}$

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	F_{ro}	$(\sigma_g)^2$	K	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٢	٠.٢٥٤	١.٨٠	١.٥	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	٠.٧١٣
٩٠	٢٢	٠.٢٥٤	١.٨٠	١.٥	١.١٢٥	٥.٦٢٥	١.١٢٥
١٤٠	٢٤	٠.٢٧٨	١.٨٠	١.٥	١.٧٥	٨.٧٥	١.٧٥

$M_{2,(b)}$

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	F_{ro}	$(\sigma_g)^2$	k	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٢	٠.٢٥٤	١.٩٠	١.٥	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	٠.٧١٣
٩٠	٢٢	٠.٢٥٤	١.٩٠	١.٥	١.١٢٥	٥.٦٢٥	١.١٢٥
١٤٠	٢٢	٠.٢٥٤	١.٩٠	١.٥	١.٧٥	٨.٧٥	١.٧٥

$M_{3,(b)}$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	F_{ro}	$(\sigma_g)^2$	k	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٠	٠.٢٣١	٢.٢٦	١.٥	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	٠.٧١٣
٩٠	٢٠	٠.٢٣١	٢.٢٦	١.٥	١.١٢٥	٥.٦٢٥	١.١٢٥
١٤٠	٢٢	٠.٢٥٤	٢.٢٦	١.٥	١.٧٥	٨.٧٥	١.٧٥

$M_{4,(b)}$

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	F_{ro}	$(\sigma_g)^2$	k	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	١٨	٠.٢٠٨	٢.٤٧	١.٥	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	٠.٧١٣
٩٠	٢٠	٠.٢٣١	٢.٤٧	١.٥	١.١٢٥	٥.٦٢٥	١.١٢٥
١٤٠	٢٠	٠.٢٣١	٢.٤٧	١.٥	١.٧٥	٨.٧٥	١.٧٥

$M_{5,(b)}$

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	F_{ro}	$(\sigma_g)^2$	k	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	١٦	٠.١٨٥	٢.٦١	١.٥	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	٠.٧١٣
٩٠	١٨	٠.٢٠٨	٢.٦١	١.٥	١.١٢٥	٥.٦٢٥	١.١٢٥
١٤٠	١٨	٠.٢٠٨	٢.٦١	١.٥	١.٧٥	٨.٧٥	١.٧٥

*($M_{1,(b)}$): المزجة الاولى لحجر الحماية وعرض الدعامة.

الجدول (٣) قيم الحدود اللابعدية المؤثرة على فشل طبقة الحماية حول الدعامات شبه الاسطوانية

$M_{1,(b)}$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	(L) ملم	F_{ro}	$(\sigma_g)_2$	K	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٢	١١٤	٠.٢٥٤	١.٨٠	١.٦	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	١.٤٢٥
٩٠	٢٤	١٨٠	٠.٢٧٨	١.٨٠	١.٦	١.١٢٥	٥.٦٢٥	٢.٢٥
١٤٠	٢٤	٢٨٠	٠.٢٧٨	١.٨٠	١.٦	١.٧٥	٨.٧٥	٣.٥

$M_{2,(b)}$

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	(L) ملم	F_{ro}	$(\sigma_g)_2$	K	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٢	١١٤	٠.٢٥٤	١.٩٠	١.٦	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	١.٤٢٥
٩٠	٢٢	١٨٠	٠.٢٥٤	١.٩٠	١.٦	١.١٢٥	٥.٦٢٥	٢.٢٥
١٤٠	٢٢	٢٨٠	٠.٢٥٤	١.٩٠	١.٦	١.٧٥	٨.٧٥	٣.٥

$M_{3,(b)}$

عرض الدعامة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	(L) ملم	F_{ro}	$(\sigma_g)_2$	K	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٠	١١٤	٠.٢٣١	٢.٢٦	١.٦	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	١.٤٢٥
٩٠	٢٢	١٨٠	٠.٢٥٤	٢.٢٦	١.٦	١.١٢٥	٥.٦٢٥	٢.٢٥

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

١٤٠	٢٢	٢٨٠	٠.٢٥٤	٢.٢٦	١.٦	١.٧٥	٨.٧٥	٣.٥

$M_{4,(b)}$

عـــــرض الدعامـــــة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	(L) ملم	F_{ro}	$(\sigma_g)_2$	K	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	٢٠	١١٤	٠.٢٣١	٢.٤٧	١.٦	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	١.٤٢٥
٩٠	٢٠	١٨٠	٠.٢٣١	٢.٤٧	١.٦	١.١٢٥	٥.٦٢٥	٢.٢٥
١٤٠	٢٢	٢٨٠	٠.٢٥٤	٢.٤٧	١.٦	١.٧٥	٨.٧٥	٣.٥

$M_{5,(b)}$

عـــــرض الدعامـــــة (b) ملم	تصريف الفشل (Q) (لتر/ثا)	(L) ملم	F_{ro}	$(\sigma_g)_2$	K	b/y	C_r/y	L/y
٥٧	١٨	١١٤	٠.٢٠٨	٢.٦١	١.٦	٠.٧١٣	٣.٥٦٣	١.٤٢٥
٩٠	٢٠	١٨٠	٠.٢٣١	٢.٦١	١.٦	١.١٢٥	٥.٦٢٥	٢.٢٥
١٤٠	٢٠	٢٨٠	٠.٢٣١	٢.٦١	١.٦	١.٧٥	٨.٧٥	٣.٥

١- العلاقة بين فشل طبقة الحماية الحجرية والمتغيرات اللابعدية:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

لغرض إيجاد علاقة بين فشل طبقة الحماية الحجرية حول الدعامة والمتغيرات اللابعدية. فقد تم الاعتماد على رقم فرود (F_{ro}) الذي تحدث عنده بداية الحركة في حجر الحماية ليكون المؤشر على بداية الفشل الحاصل فيها.

١-١- العلاقة بين رقم فرود (F_{ro}) ومربع الإنحراف المعياري الهندسي لحجر الحماية $(\sigma g)^2$:

لقد تم اعتماد الانحراف المعياري الهندسي $(\sigma g)^2$ لتمثيل المزجات المختلفة لحجر الحماية. رسمت العلاقة بين (F_{ro}) و$(\sigma g)^2$ في الشكلين (٤) و (٥) للمزجات الخمس لحجر الحماية ولشكلي الدعامة مع تغيير عرضها وباستخدام الإنحدار الخطي (Excel) لذلك. تبين بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بينهما وكما يلي:

$$F_{ro} = a_1 + b_1 \times (\sigma_g)^2$$

..... (٣)

إذ أن a_1, b_1 هي ثوابت المعادلة.

معامل التحديد (R^2) للمعادلة (٣) تغيرت قيمته من (٠.٦٦٤) الى (٠.٩٤٥). وضمن محددات البحث فمن الممكن ايجاد قيمة رقم فرود (F_{ro}) الذي يسبب بداية فشل طبقة الحماية الحجرية حول دعامات الجسور اذا حدد شكل الدعامة وعرضها وقيمة مربع الانحراف المعياري الهندسي $(\sigma g)^2$ لحجر الحماية.

٢-١- العلاقة بين نسبة عرض الدعامة الى معدل عمق الجريان (b/y) ورقم فرود (F_{ro}):

العلاقة اللابعدية الاخرى تربط بين نسبة عرض الدعامة الى معدل عمق الجريان ورقم فرود (F_{ro}) وتم رسمها في الشكلين (٦) و (٧). وجد بأن العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بينهما وكما يلي:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$F_{ro} = a_2 + b_2 \times \left(\frac{b}{y}\right)$$

..... (٤)

إذ أن a_2، b_2 هي ثوابت المعادلة.

معامل التحديد كانت قيمته بين (٠.٦٤٢) و (٠.٨٤٤) عدا الحالتين اللتين كان فيهما خط العلاقة مواز لقيم النسبة (b/y).

١-٣- العلاقة بين نسبة عرض طبقة الحماية الحجرية إلى معدل عمق الجريان (C_r/y) ورقم فرود (F_{ro}):

علاقة لا بعدية اخرى تربط بين نسبة عرض طبقة الحماية الحجرية إلى معدل عمق الجريان (C_r/y) ورقم فرود (F_{ro}). وجد بان العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بينهما وكما يلي:

$$F_{ro} = a_3 + b_3\left(\frac{C_r}{y}\right)$$

..... (٥)

إذ أن a_3، b_3 هي ثوابت المعادلة.

١-٤- العلاقة بين نسبة طول الدعامة الى معدل عمق الجريان (L/y) ورقم فرود (F_{ro}):

علاقة لا بعدية رابعة تربط بين نسبة طول الدعامة إلى معدل عمق الجريان ورقم فرود (F_{ro}). وجد بان العلاقة الخطية هي أفضل العلاقات بينهما وكما يلي:

$$F_{ro} = a_4 + b_4\left(\frac{L}{y}\right)$$

..... (٦)

إذ أن a_4، b_4 هي ثوابت المعادلة.

٢- العلاقة بين شكل الدعامة ورقم فرود (F_{ro}):

لمعرفة العلاقة بين شكل الدعامة ورقم فرود (F_{ro}) فقد تم تغيير شكل الدعامة مرتين خلال التجارب، وتم تمثيل كل شكل بثابت هو (k) اعتبرت قيمته تساوي (١.٥) للدعامات الاسطوانية و(١.٦) للدعامات شبه الاسطوانية. القيمتان استندتا على التجارب التي اجراها ريجاردسون واخرون (Richardson et. al. 1991).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٣- تأثير المتغيرات البعدية على بداية الفشل حول الدعامة:

المتغيرات البعدية التي تؤثر على فشل طبقة الحماية حول الدعامة هي التصريف (Q)، وعرض الدعامة (b) وعرض طبقة الحماية (C_r) وطول الدعامة (L). ولان كلاً من (L) و (C_r) هما بدلالة (b) فسيدخل تأثيرهما ضمنها.

٣-١- تأثير التصريف (Q) على بداية فشل طبقة الحماية:

على الرغم من أن رقم فرود (F_{ro}) اعتمد على بداية الفشل في هذه الدراسة، الا ان اغلب الابحاث تدرج التصريف كدالة على الفشل ولهذا فقد اعدت الجداول (٤) و (٥) لتوضح انه بزيادة قيمة مربع الانحراف المعياري الهندسي لحجر الحماية يقل التصريف اللازم لحدوث الفشل.

الجدول (٤) نسبة الزيادة في قيمة مربع الانحراف المعياري الهندسي لحجر الحماية مع نسبة النقصان في تصريف الفشل للدعامات الاسطوانية

نسبة الزيادة في $(\sigma_g)^2$ (%)	نسبة النقصان في التصريف عند بداية الفشل (Q) (%)	
	(أقل نسبة الى أعلى نسبة) للقصان (%)	معدل نسبة القصان (%)
٥.٦	(صفر-٨.٣)	٢.٨ *
٢٥.٦	(٩.١-٨.٣)	٨.٨
٣٧.٢	(١٨.٢-٩.١)	١٤.٧
٤٥	(٢٧.٣-١٨.٢)	٢٣.٥

الجدول (٥) نسبة الزيادة في قيمة مربع الإنحراف المعياري الهندسي لحجر الحماية مع نسبة النقصان في تصريف الفشل للدعامات شبه الاسطوانية

نسبة الزيادة في $(\sigma_g)^2$ (%)	نسبة النقصان في التصريف عند بداية الفشل (Q) (%)	
	(أقل نسبة الى أعلى نسبة) للقصان (%)	معدل نسبة القصان (%)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٥.٦	(صفر-٨.٣)	* ٥.٥
٢٥.٦	(٨.٩-٩.١)	٨.٦
٣٧.٢	(٨.٣-١٦.٧)	١١.٤
٤٥	(١٦.٧-١٨.٢)	١٧.٢

* هذا الرقم يمثل معدل النسبة لجميع القيم الواقعة بين (صفر و ٨.٣).

٣-٢- تأثير عرض الدعامة (b) على بداية الفشل:

عرض الدعامة ايضاً من العوامل التي تؤثر على فشل طبقة الحماية فقد لوحظ بأن زيادة عرض الدعامة يؤدي الى زيادة التصريف اللازم لحدوث الفشل والجدولان (٦) و (٧) يبينان النسبة المئوية لزيادة عرض الدعامة مع النسبة المئوية للزيادة في التصريف اللازم لحدوث الفشل.

الجدول (٦) نسبة الزيادة في عرض الدعامات الاسطوانية مع نسبة الزيادة في تصريف الفشل

نسبة الزيادة في عرض الدعامة (b) (%)	نسبة الزيادة في تصريف الفشل (Q) (%)	
	(أقل نسبة الى أعلى نسبة) للزيادة (%)	معدل نسبة الزيادة (%)
٥٧.٩	(صفر-١٢.٥)	*٤.٧
١٤٥.٦	(صفر-١٢.٥)	٨.٥

- هذا الرقم يمثل معدل النسبة لجميع القيم الواقعة بين (صفر و ١٢.٥).

الجدول (٧) نسبة الزيادة في عرض الدعامات شبه الاسطوانية مع نسبة الزيادة في تصريف الفشل

نسبة الزيادة في عرض الدعامة (b) (%)	نسبة الزيادة في تصريف الفشل (Q) (%)	
	(أقل نسبة ـ أعلى نسبة) للزيادة (%)	معدل نسبة الزيادة (%)
٥٧.٩	(صفر-١١.١)	* ٦

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

١٤٥.٦	(صفر-١١.١)	٨

* هذا الرقم يمثل معدل النسبة لجميع القيم الواقعة بين (صفر و ١١.١).

٤- تغير موقع بداية الفشل في طبقة الحماية:

بعد مقارنة الحالات الثلاثين لفشل طبقة الحماية والتي هي مقسمة بين الدعامات الاسطوانية وشبه الاسطوانية لوحظ بأن منطقة الفشل في طبقة الحماية حول الدعامات الاسطوانية غالباً ما تكون في منطقة مؤخر الدعامة، الشكل (٨). أما في الدعامات شبه الاسطوانية فان منطقة الفشل في طبقة الحماية تحدث في مقدم الدعامة، الشكل (٩). ان هذا يعود إلى أنه في حالة الدعامات الاسطوانية فان تأثير دوامات الأثر (wake vortices) التي تحدث في مؤخر الدعامة أقوى من تأثير دوامات حذوة الفرس (horse shoe vortices) التي تتولد في مقدمها. أما في حالة الدعامات شبه الاسطوانية فان تأثير دوامات الاثر أقل من تأثير دوامات حذوة الفرس وذلك لان الشكل شبه الاسطواني أكثر انسيابية من الشكل الاسطواني.

٥- استنباط علاقة وضعية لحساب الفشل في طبقة الحماية الحجرية حول دعامات الجسور:

بعد إدخال جميع النتائج المتعلقة بفشل طبقة الحماية الحجرية حول الدعامة في البرنامج الاحصائي (SPSS-10.00) تم الحصول على العلاقة الاتية:

$$F_{ro} = 0.265\left\{\frac{(k)^{0.659}}{((\sigma_g)^2)^{0.503}}\left(\frac{b}{y}\right)^{0.083}\right\}$$

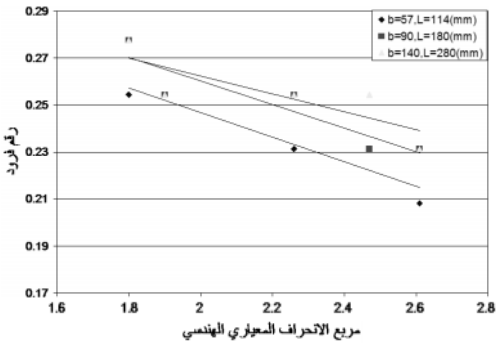
..... (٨)

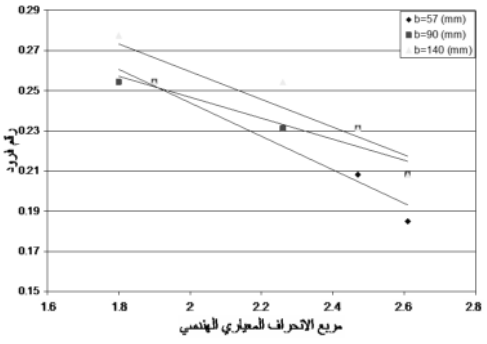
معامل التحديد يساوي (٠.٨٢١).

الشكل (٤) العلاقة بين $(\sigma_g)^2$ لنماذج

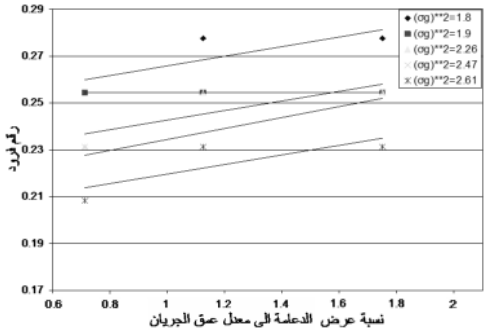
الشكل (

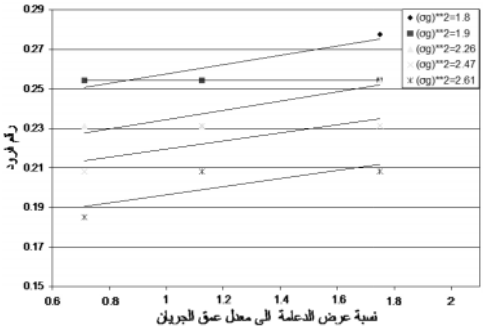
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



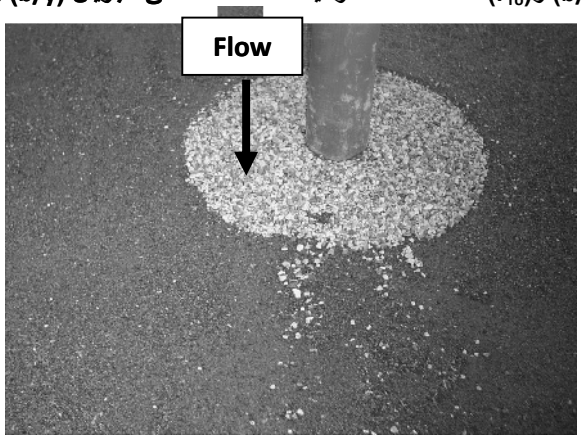


الشكل (٦) العلاقة بين نسبة عرض الدعامة إلى معدل عمق الجريان (b/y) و(F_{ro}) للدعامات الاسطوانية



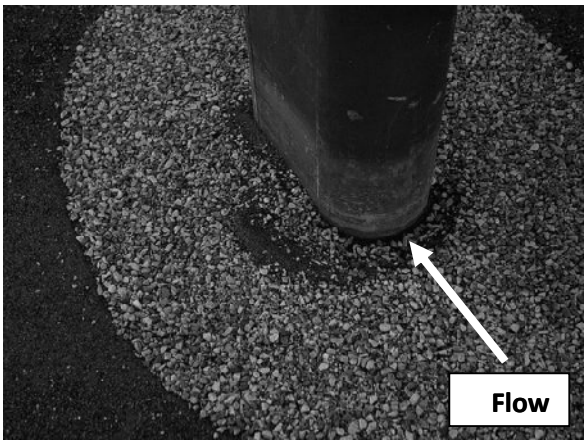


الشكل (٧) العلاقة بين نسبة عرض الدعامة إلى معدل عمق الجريان (b/y) و(F_{ro}) للدعامات شبه الاسطوانية



الشكل (٨) موقع الفشل في طبقة الحماية للمزجة الثالثة والدعامة الاسطوانية بقطر (٥٧) ملم وتصريف (٢٠) لتر/ثا

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (٩) موقع الفشل في طبقة الحماية للمزجة الرابعة والدعامة شبه الاسطوانية بعرض (٩٠) ملم وتصريف (٢٢) لتر/ثا

الاستنتاجات:

ضمن المحددات التي اجريت فيها تجارب هذا البحث يمكن استنتاج ما يلي:

١- أهمية تدرج حجر الحماية حول دعامات الجسور لحمايتها من النحر الموضعي وانها عامل مهم في تحديد استقراريتها.

٢- تزداد استقرارية طبقة الحماية كلما زادت نسبة الحجوم الخشنة مقارنة بالحجوم الناعمة وهذا يمكن الحصول عليه بزيادة عدد حجوم تدرج الحجر.

٣- يمكن الحصول على علاقة لحساب رقم فرود لبداية الفشل (F_{ro}) بدلالة مربع الانحراف المعياري الهندسي $(\sigma g)^2$ لحجر الحماية والنسبة بين عرض الدعامة الى معدل عمق الجريان (b/y) ومعامل شكل الدعامة (k) وكما جاء في المعادلة (٨) وبمعامل ارتباط قدره (٠.٨٢١). ويمكن حساب رقم فرود لبداية الفشل لأي قيمة من $(\sigma g)^2$ عند تثبيت المتغيرات الاخرى، أو حساب قيمة $(\sigma g)^2$ عندما تكون قيمة رقم فرود والمتغيرات الاخرى معلومة.

٤- يوجد علاقة عكسية بين رقم فرود (F_{ro}) اللازم لحدوث الفشل و قيمة مربع الانحراف المعياري الهندسي $(\sigma g)^2$ لحجر الحماية وبمعامل ارتباط تراوح بين (٠.٦٦٤) و (٠.٩٤٥).

٥- بداية فشل طبقة الحجر حول الدعامات الاسطوانية يكون في الحافة الخارجية من مؤخرة طبقة الحماية، بينما يكون في مقدمة الحافة الداخلية من طبقة الحماية للدعامات شبه الاسطوانية. لاحظ الشكلين (٨) و (٩).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٦- فشل طبقة الحماية حول الدعامات الاسطوانية يحدث أسرع من فشل طبقة الحماية حول الدعامات شبه الاسطوانية والتي لها عرض مماثل ونفس النسبة بين عرض طبقة الحماية الى عرض الدعامة (C_r/b).

الرموز المستخدمة في البحث:

a_1, a_2, a_3, a_4: ثوابت المعادلات الوضعية

b: عرض الدعامة

b_1, b_2, b_3, b_4: ثوابت المعادلات الوضعية

C_r: عرض طبقة الحماية حول الدعامة

d_{r50}: متوسط حجم حجر الحماية

d_{s50}: متوسط قطر مادة القعر

F_{ro}: رقم فرود بدلالة عمق الجريان

K: معامل يمثل شكل الدعامة

L: طول الدعامة

Q: التصريف

R_e: رقم رينولدز للجريان

R^2: معامل التحديد

t: سمك طبقة الحماية

y : معدل عمق الجريان

ρ_r: الكثافة الكتلية لحجر الحماية

ρ_s : الكثافة الكتلية لمادة القعر

ρ_w: الكثافة الكتلية للماء

$(\sigma_g)^2$: مربع الانحراف المعياري الهندسي لحجر الحماية

المصادر:

1- Chiew, Y. M. (1995), “Mechanics of riprap failure at bridge piers”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.121, No. 9, pp. 635 - 643.

2- Chiew, Y. M., and Lim, F. H. (2000), “Failure behavior of riprap layer at bridge piers under live-bed conditions”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.126, No.1, pp.43 - 55.

3- Chiew, Y. M., and Lim, F. H. (2004), " Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 130, No. 3, p.p. 218 - 226.

4- Choi, G. W., Ahn, S. J., Hahm, C. H. ,Kim H. T. and Jeong, S. M. (2002), “Riprap equation for protecting the local scour at bridge piers”. URL: http//www.che2002.pl/programme.html

5- Chow, V. T. (1959), "Open channel hydraulics", Mc Graw- Hill Book Company, Inc., New York, USA.

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com

6- DACE, Department of the Army, Corps of Engineers (2003), "Bid for construction of flood protection project", Van Bibber Creek, Arvada, Colorado, USA.
URL:http//www.floodaily.com/archive/2003/07-july31-jul-2003ly-doc.htm

7- Dunham, C. W. (1950), “Foundations of structures”, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, USA.

8- FHWA, Federal Highway Administration (1995), “Evaluating scour at bridges”, Hydraulic Engineering Circular (HEC) No.18, 3rd Edition, Washington, D.C., USA.

9- Johnson, P. A., and Forico, E. F. (1994), “Scour around wide piers in shallow water”, Transportation Research Board Record 1471, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.

10- Kamil, H. M. Ali, and Othman Karim (2002), “Simulation of flow around piers”, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.40, No. 2, p.p. 161-173.

11- Kothyari, U. C., and Ranga Raju (2002), “Influence of cohesion on scour around bridge piers”, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.40, No. 6, p.p. 717-729.

12- Lauchlan Christine S., and Melville, B. W. (2001), “Riprap protection at bridge piers”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 5, p.p. 412 - 418.

13- Lim, F. H., and Chiew, Y. M. (2001), “Parametric study of riprap failure around bridge piers”, ASCE, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 39, No.1. P.P. 61-72.

14- Maynord, S. T. (1998), “Sizing dumped rock riprap”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE Vol. 124, No.6, p.p. 652-655.
15- Shen, H. W. (1971), "River Mechanics", Vol. 2, Published by, H. W. Shen, P.O.Box 606, Fort Collins, Colorado, USA.
16- Simons, B. D. and Senturk, F. (1977), ”Sediment transport technology”, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, USA.

17- SP, (1998), "Slope protection", revised.

URL:http://www.nwk.usace.army.mil/local-protection/pdf/slopeprot.pdf

www.manaraa.com

18- USCOE, U S Army Corps of Engineers (1991), "Hydraulic design of flood control channels", Engineer Manual 1110-2-1601, July.

19- USGS (2000), "Scour at bridges", Internet Report, Massachusetts-Rhode Island, USA.

URL: http://www.usgs.gov/osw/techniques/workshop/mueller.html

20- USGS (2001), “Its not just water under the bridge”, Open House: Bridge Scour, USGS 0n-line Resources.

URL:http://www.usgs.gov/2001openhouse/exhibits/35-bridgescour.html

٢١- الصفار، منارسفر (٢٠٠٦)، " تأثير تدرج الحماية الحجرية على النحر الموضعي حول دعامات الجسور"، رسالة ماجستير، قسم هندسة الموارد المائية، كلية الهندسة، جامعة الموصل.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com