

تقييم الانجراف الموقعي حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة

Evaluation of Local Scour around the Mid Pier of Al-Kufa Bridge

أ.م.د. صالح عيسى خصاف
كلية الهندسة، قسم الهندسة المدنية
جامعة الكوفة، النجف، العراق

الخلاصة

في هذا البحث، تم دراسة تأثير عمق الانجراف الموقعي الحادث حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة وتقييم تلك الدعامة نسبة إلى ذلك، لقد تم تحليل الحجم الحبيبي لمادة قاع النهر قرب الجسر وقياس مناسيب المياه والسرعة لفترات مختلفة ممتدة بين الأشهر آذار ونيسان وأيار لعام ٢٠٠٦ وقياس عمق الانجراف في تلك الفترات حول الدعامة الوسطى للجسر. تناولت الدراسة أهم العلاقات الوضعية التي يمكن استخدامها لتخمين عمق الانجراف مستقبلاً حول الدعامة وكذلك تم التوصل إلى صيغة وضعية جديدة تلائم الظروف الهيدروليكية لمنطقة الدراسة. لقد تم مقارنة عمق الانجراف المحسوب من الصيغة الوضعية مع تلك المقامة وكانت النتائج جيدة حيث وجد إن النسبة المئوية للخطأ هي ٢%.

Abstract

In this research, the effect of local scour which is formed around the mid pier of Al-Kufa Bridge was studied, and the evaluation of this pier was focused. The particle size of the bed material of the river near the bridge was analyzed and the water level was measured, and the values of velocity of flow in March, April and May 2006, also the depth of scour around the mid pier are measured in this period.

Many formulas are extracted to predict the scour depth in future around the pier; also a new empirical formula was obtained to predict the scour depth around the pier corresponding to the hydraulic conditions similar as the study region.

The results of the scour depth from the empirical formula and the calculated were compared, and gave good results, where the percentage of error was 2%.

١. المقدمة

تضررت العديد من الجسور في أنحاء مختلفة من العالم وفشلت نتيجة حدوث انجراف موقعي كبير حول دعوماتها أو حول أكتافها بسبب عدم حساب عمق الانجراف بشكل دقيق أثناء التصميم، حيث يحدث الانجراف الموقعي نتيجة جريان المياه حول عائق معين كدعامات الجسور والأكتاف والأسنة الصخرية وما إلى ذلك [1] ويكون قيمته أكبر عند مقدمة الدعامات عما في مؤخرتها نتيجة اتجاه وسرعة الجريان.

وهناك عوامل متعددة تتداخل فيما بينها لحدوث الانجراف الموقعي ومدى تأثيره على المنشأ الذي يحدث به. ومنها عمق وشدة الجريان، خواص مادة القاع (الرسوبيات)، زاوية ميل الدعامة باتجاه الجريان، إضافة إلى شكل دعامة الجسر [2].

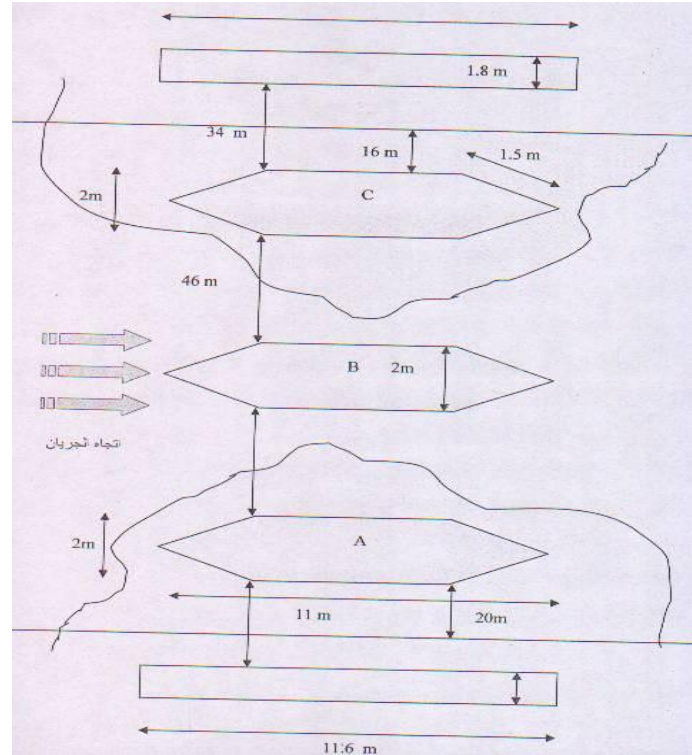
إن الانجراف الموقعي حول دعومات الجسور حالة ملازمة في الهندسة الهيدروليكية ومنذ زمن بعيد استنتج الباحثون من خلال طرق ومراحل مختلفة مجموعة من المعادلات لتخمين عمق الانجراف حول دعومات وأكتاف الجسور. وأجريت في منتصف القرن الماضي العديد من الدراسات وطورت العديد من المعادلات الوضعية لتخمين الانجراف حول دعومات الجسور وكان العديد من الصيغ تستخدم البيانات المخبرية وفي أحيان قليلة البيانات الحقلية، ودرست على نطاق واسع ميكانيكية الانجراف الموقعي حول دعومات الجسور.

في هذه الدراسة، ونظراً لظهور حالة الانجراف الموقعي حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة وبصورة جلية مكونه حفرة ذات عمق واضح خصوصاً عند انخفاض مناسب شط الكوفة، لذلك دعت الحاجة إلى تقييم عمق الانجراف الموقعي حول هذه الدعامة والتوصل إلى صيغة وضعية لتخمين مقدار الانجراف الموقعي مستقبلاً بعد معرفة القياسات الهيدروليكية عند الموقع.

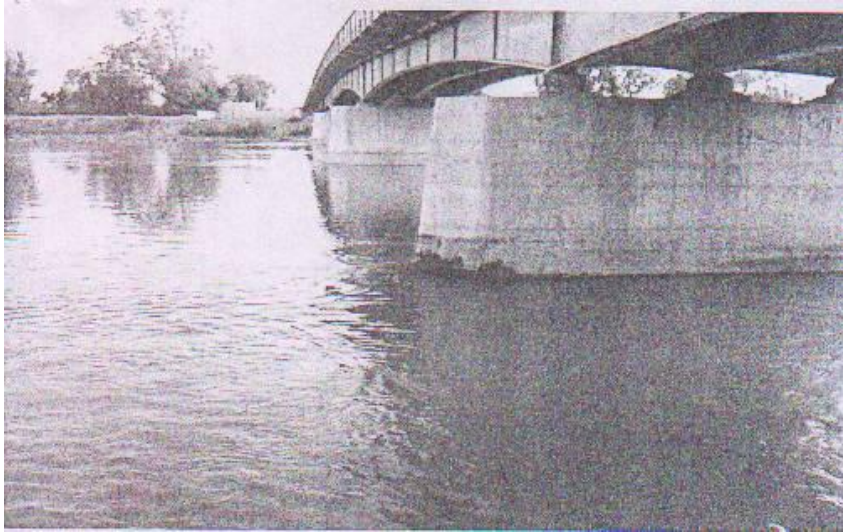
٢. الدراسة الموقعية

١-٢ وصف الموقع

انشأ جسر الكوفة عام ١٩٧٥ م لغرض مرور المركبات والمشاة عليه وبطول ١٦٦ م، يتكون الجسر من ثلاث دعومات خرسانية والمسافة بين دعامة وأخرى تبلغ ٤٦ متر ويبلغ عرض الدعامة الواحدة (٢ متر) وذات شكل مغزلي (sharp nosed) في المقدم والمؤخر كما واضح في شكل رقم (١) ولوحة رقم (١). أما أكتاف الجسر فقد تم إنشائها خارج مقطع النهر.



شكل (١) وصف عام لدعامات وأكتاف جسر الكوفة



لوحة (١) منظر لجسر الكوفة

٢-٢ القياسات الموقعية

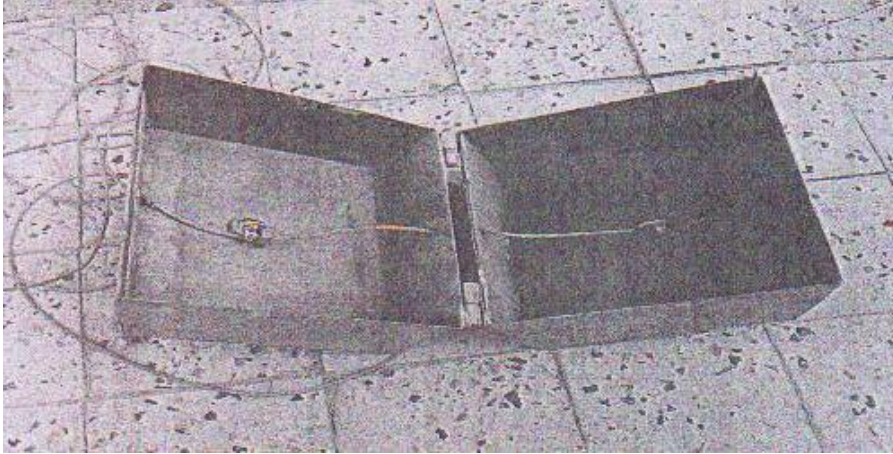
١-٢-٢ مادة القاع

تم اخذ ثلاث عينات من قاع النهر في أشهر آذار ونيسان وأيار عام ٢٠٠٦ عند مقدم دعامات جسر الكوفة بواسطة جهاز اخذ النماذج الذي تم تصنيعه لهذا الغرض وكما توضح اللوحة رقم (٢) شكله قبل وأثناء اخذ العينات، وتم إجراء فحص التدرج لمقاس الحبيبات لقاع النهر في مختبر التربة في جامعة الكوفة وبعد ذلك تم رسم منحنى التدرج الخاص بذلك كما يلاحظ في شكل رقم (٢) وشكل رقم (٣) وشكل رقم (٤) للنماذج الثلاث.

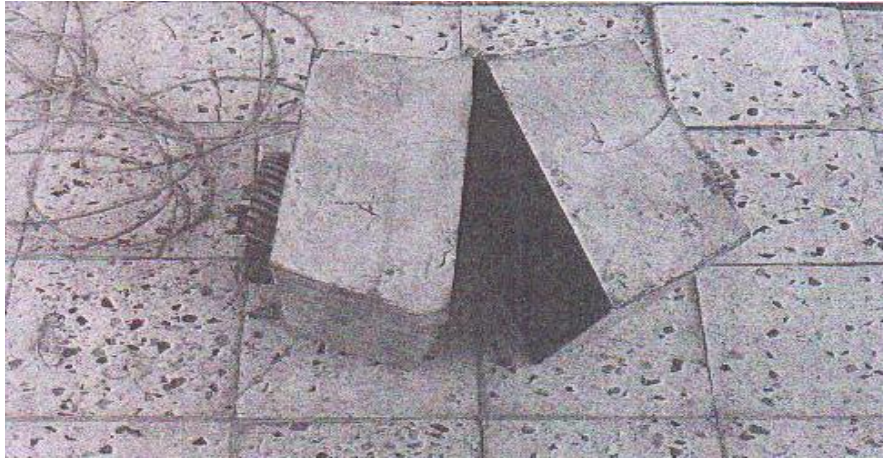
ومن خلال هذه الأشكال تم إيجاد معدل قطر الحبيبات (d_{50}) للنماذج الثلاثة وكانت على التوالي ٠.٠٢٧ ملم و ٠.٠١٣ ملم و ٠.٠١٣٢ ملم حيث تم اختيار ٠.٠١٣ ملم كمعدل والذي سيتم استخدامه في الحسابات القادمة.

أما نوع مادة القاع فكانت ٤٠% طين ، ٤٠% غرين ، ٢٠% رمل للنموذج الأول و ٤٢% طين ، ٣٢% غرين ، ٢٦% رمل للنموذج الثاني و ٤١% طين ، ٣٩% غرين ، ٢٠% رمل للنموذج الثالث.

ومن خلال مثلث تصنيف التربة يظهر إن مادة القاع من نوع رمل غريني طيني (sand silt clay).

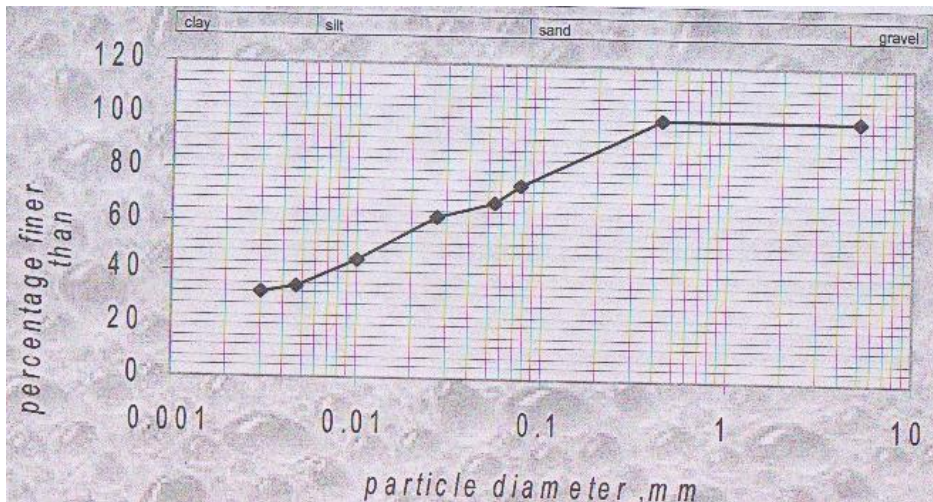


(أ) حالة الجهاز قبل اخذ النماذج

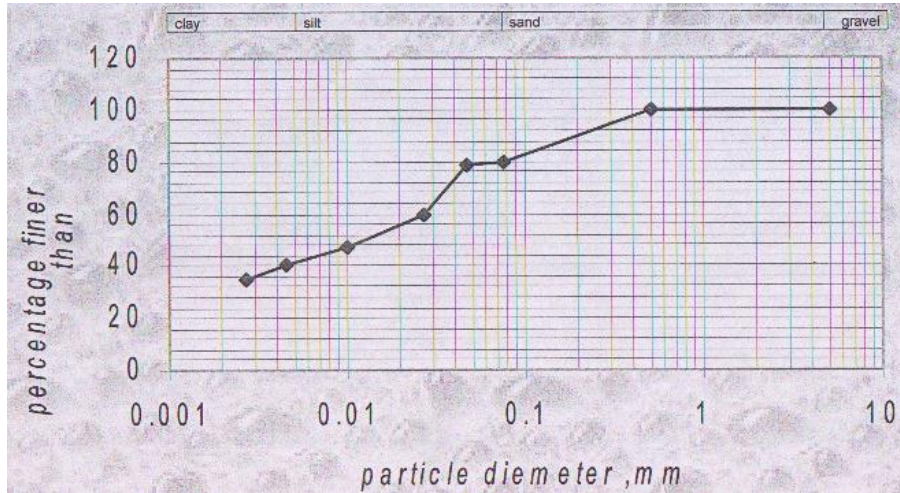


(ب) حالة الجهاز أثناء اخذ النماذج

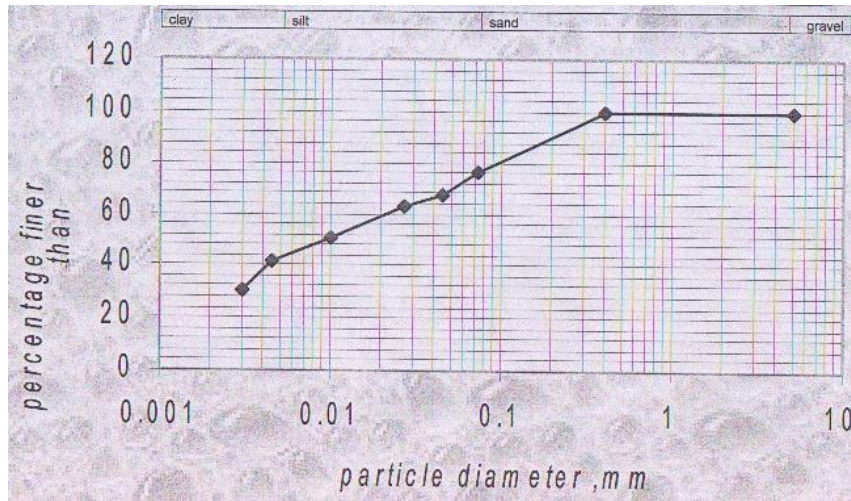
لوحة (٢) جهاز قياس نماذج مادة القاع



شكل (٢) التدرج الحبيبي لمادة القاع للنموذج الأول



شكل (٣) التدرج الحبيبي لمادة القاع للنموذج الثاني



شكل (٤) التدرج الحبيبي لمادة القاع للنموذج الثالث

٢-٢-٢ تصريف النهر

تم اخذ القياسات في فترة كان منسوب النهر واطناً لغرض قياس حفرة الانجراف حيث إن هذه المناسب والتصاريف الواطئة هو نتيجة وجود سد الكوفة عند مقدم الجسر والتي تسيطر على مناسيب المياه. والجدول رقم (١) يوضح قيم أعماق النهر وكذلك سرعة الجريان أثناء فترة القياس. أما قياس مساحة مقطع منطقة الدراسة للنهر فقد تم تقسيمه إلى عدة مقاطع واستخدام قانون شبه المنحرف للمساحات الصغيرة لحساب المساحة الكلية للمقطع.

$$A = \sum_{i=1}^n (h_i + h_{i+1}) * x/2 \dots\dots\dots (1)$$

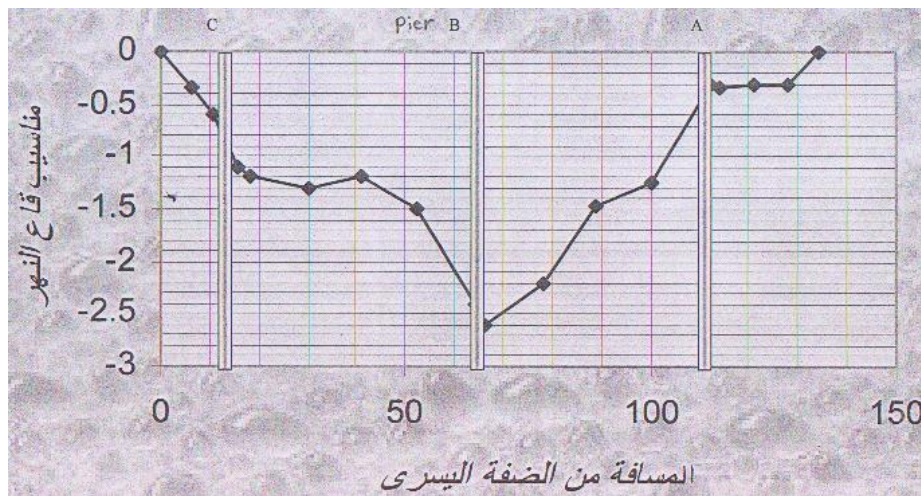
حيث:

A = مساحة مقطع النهر
 h_{i+1} ، h_i الارتفاع على جانبي المسافة x
 x = المسافة الأفقية بين الارتفاعين.

جدول رقم (١) المعلومات الهيدروليكية والموقعية المقاسة عند موقع دعامات جسر الكوفة

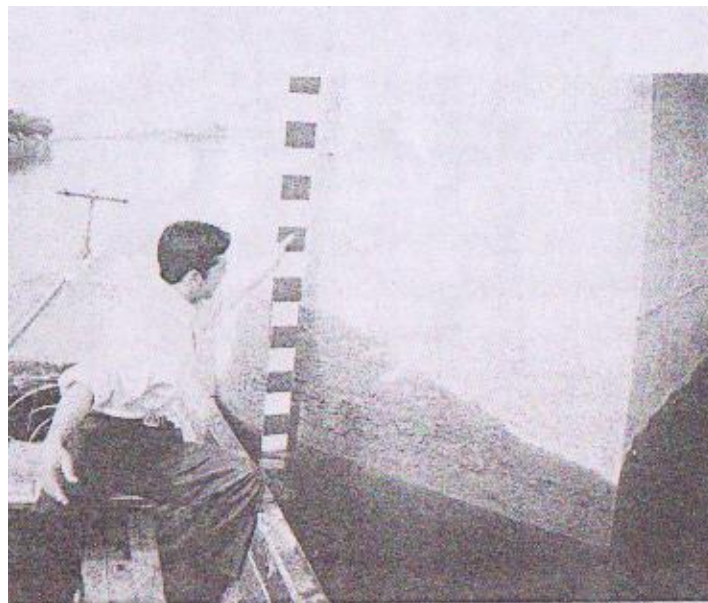
تاريخ القياس	معدل عمق الماء (م)	معدل سرعة الماء (م/ثا)	معدل التصريف (م ^٣ /ثا)	معدل عمق الانجراف (م)
٢٠٠٦/٣/٢	١.٦٠	٠.٧١	١١٤.٣١	١.٨٨
٢٠٠٦/٣/٩	١.٦٨	٠.٦٧	١٠٧.٢	١.٨٥
٢٠٠٦/٣/١٦	١.٥٨	٠.٧٢	١١٦.٦٤	١.٩٢
٢٠٠٦/٣/٢٣	١.٦٢	٠.٧٠	١١٢.٣٢	١.٨٧
٢٠٠٦/٤/٢	١.٦٥	٠.٦٨	١٠٩.٢١	١.٨٥
٢٠٠٦/٤/١٠	١.٦٠	٠.٧١	١١٥,٠٤	١.٩٤
٢٠٠٦/٤/١٨	١.٦٣	٠.٧٠	١١٤.١٠	١.٩٠
٢٠٠٦/٤/٢٥	١.٧٢	٠.٦٤	١٠٣.٦٨	١.٣٦
٢٠٠٦/٥/٥	١.٧٠	٠.٦٦	١٠٦.٩٢	١.٨٩
٢٠٠٦/٥/١٢	١.٦٣	٠.٦٧	١٠٨.٥٤	١.٩٢
٢٠٠٦/٥/١٩	١.٧٦	٠.٦٤	١٠٦.٢٤	١.٨٨
٢٠٠٦/٥/٢٧	١.٧٢	٠.٦٦	١٠٩.٥٦	١.٩٠

تم اخذ المناسيب على عرض مجرى النهر وعلى مسافات معلومة وفي قاع النهر كما موضح في الشكل (٥) وقد تم الاستفادة من انخفاض مناسيب المياه في النهر لإجراء القياسات الموقعية ومعرفة عمق الانجراف بصورة واضحة. ومن الملاحظ إن الجريان هو من نوع الهادئ sub-critical في اغلب مواسم السنة في هذا النهر.



شكل (٥) مقطع لمناسيب قاع النهر عند موقع الجسر

٢-٢-٣ قياسات عمق الانجراف الموقعي حول الدعامة الوسطى
تم قياسات الانجراف الموقعي حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة كما نلاحظ ذلك في لوحة رقم (٣) باستخدام مسطرة مرقمة وقارب نهري وتم استخدام جهاز التسوية لقراءة مناسيب مياه النهر ومناسيب القاع قرب الدعامة حيث يمثل عمق الانجراف الفرق بين منسوب قاع النهر ومنسوب القاع عند دعامة الجسر فوجد إن معدل قراءات عمق الانجراف حول الدعامة الوسطى ولفترة الدراسة هو كما مثبت في جدول رقم (١) حيث لوحظ إن عمق الانجراف لم يتجاوز عمق أساس الدعامة، أما الدعامتين الطرفيتين فقد تم حمايتهما أثناء تنفيذ الجسر بواسطة سنون حجرية لتبعد مجرى المياه عنها ولكي لا يحدث انجراف موقعي ظاهر فيها.



لوحة (٣) عملية قياس عمق الانجراف الموقعي حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة

٣-٢ الصيغ الوضعية لحساب عمق الانجراف حول الدعامات
قبل التطرق إلى الصيغ الوضعية لحساب عمق الانجراف ومقارنته مع تلك المقاسة في الموقع ، أوصى كثير من الباحثين بمعرفة فيما إذا كان سيحدث انجراف موقعي أم لا حول الدعامات وذلك بإيجاد قيمة شدة الجريان والذي يساوي (v/v_c) حيث v هي سرعة الجريان في النهر، v_c السرعة الحرجة. فإذا كانت القيمة أكبر من ٠.٥ يعني ذلك سيحدث انجراف موقعي [3] والصيغة في ذلك هي:

$$v_c / v_c^* = 5.75 \log (5.53 y/d50) \dots\dots\dots (2)$$

حيث:

$v_c^* =$ سرعة القص الحرجة لماده القاع .
 $y =$ عمق الجريان في النهر.

$$v_c^* = 0.0115 + [0.0125 [(d50)^{1.4}] \dots\dots\dots (3)$$

$$d_{50} = 0.013 \text{ mm}, v_c^* = 0.01153 \text{ m/sec}$$

وجد معدل عمق الجريان في النهر أثناء فترة القياس = ١.٧٢ متر .

$$\therefore v_c = 0.19 \text{ m/sec}$$

لذلك فإن شدة الجريان $v/v_c = 3.15$ مما يعني إن الانجراف الموقعي سوف يحدث حول دعامة الجسر .
هنالك صيغ وضعية عديدة لباحثين خمنت قيمة الانجراف الموقعي حول دعامة الجسور ولكن تم تناول تلك التي تلائم الظروف الموقعية والهيدروليكية لحالة الدراسة هذه . لذلك سيتم حساب عمق الانجراف وفق هذه الصيغ لمقارنتها مع القياسات الحقلية وبالتالي التوصل إلى صيغة وضعية ملائمة في القياسات المستقبلية:

1. Inghs-Poona

تطبق العلاقة التالية للباحث المذكور عندما تكون $d_{50} > 0.5$ ملم و $y/b > 4$ حيث b هو عرض الدعامة والتي تساوي (م2) لدعامة جسر الكوفة والعلاقة مأخوذة من مصدر رقم (٣) وكالاتي:

$$ds/b = 4.025 (y/b)^{3/4} (Fc)^{0.5} - y/b \dots\dots\dots (4)$$

$$Fc = \frac{V_c}{\sqrt{g^* A/T}}$$

حيث:

d_s = عمق الانجراف .

F_c = رقم فرود الحرج

v_c = السرعة الحرجة

T = عرض مقطع الجريان من الأعلى

وبتطبيق المعلومات أثناء فترة القياس على دعامة جسر الكوفة وجد $ds/b = 0.62$ ، أي إن قيمة ds ستكون = 1.24 م.

2. Shen

يعتبر Shen إن تأثير الحجم الحبيبي مهمل إذا كان $d_{50} > 0.5$ ملم ويأخذ تأثير سرعة الجريان بنظر الاعتبار والصيغة الآتية والمأخوذة من مصدر رقم (٤):

$$ds/b = 2F^{0.43} (y/b)^{0.355} \dots\dots\dots (5)$$

حيث:

F = هو رقم فرود

وبتطبيق هذه الصيغة يكون $ds/b = 0.79$ أي إن $ds = 1.58$ م

3. Shen

وهناك صيغة ثانية لـ Shen مأخوذة من مصدر رقم (٤):

$$ds/b = 3.4 (Fp)^{0.67} \dots\dots\dots (6)$$

حيث:

F_b : هو رقم فرود بدلالة عرض الدعامة b

$$Fp = \frac{v}{\sqrt{g^* b}}$$

وبتطبيق هذه العلاقة يكون $ds/b = 0.88$ أي $ds = 1.76$ متر

4. Tor Sethaugen

اعتمد الباحث في علاقته على شدة الجريان وعمق الماء وأهم تأثير الحجم الحبيبي لماده القاع والصيغة هذه مأخوذة من مصدر رقم (٥):

$$ds/b = 1.8 (v / v_c - 0.54) * y/b \dots\dots\dots (7)$$

وعند تطبيقها على دعامة جسر الكوفة تكون النتيجة $ds/b = ٤.٠٤$ أي إن $ds = ٨.٠٨$ م.

5. Breusers et. al.

وتطبق علاقته في حالة $y/b > 1$ والصيغة هي [6]:

$$ds/b = (2v/v_c - 1) (2 \tanh y/b) \dots\dots\dots (8)$$

وبتطبيقها على موقع الدراسة ينتج $ds/b = ٧.٢٨$ أي إن $ds = ١٤.٥٦$ م

6. Subhash C. Jain

والصيغة التي وضعت والمأخوذة من مصدر رقم (٧) هي:

$$ds/b = 1.84 (y/b)^{0.33} (Fc)^{0.25} \dots\dots\dots (9)$$

وبتطبيقها على القياسات الحقلية لدراستنا يكون $ds/b = ٠.٨٤$ أي إن $ds = ١.٦٨$ م.

7. Qader

حل الباحث ميكانيكية الانجراف حول دعامات الجسور بالمعادلة الآتية [3]:

$$ds = 538 C_o^{1.28} \dots\dots\dots (10)$$

حيث:

$$C_o = v_o r_o$$

$$r_o = 0.1 * b$$

$$v_o = 0.92 b^{0.5} v^{0.83}$$

وبتطبيق هذه الصيغ على القياسات الحقلية لدعامة جسر الكوفة ينتج $C_o = 0.00852$ ، $\theta = 0.0426$ ونتيجة $ds = ١.٢٠٧$ م.

٢-٤ الصيغة الوضعية الجديدة لموقع الدراسة

بغية إيجاد صيغة تتناسب موقع الدراسة لتخمين الانجراف الموقعي حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة وبصيغة لا بعدية وفق الظروف الهيدروليكية للموقع يمكن وضعها بالشكل التالي:

$$ds/b = C (y/b)^a (F)^b \dots\dots\dots (11.a)$$

وقد تم تقسيم البيانات الحقلية إلى مجموعتين المجموعة الأولى لإيجاد صيغة وضعية ثلاثم موقع الدراسة حيث تم إدخالها في برنامج إحصائي وتم التوصل إلى الصيغة التالية:

$$ds/b = 2.07 (y/b)^{0.34} F^{0.45} \dots\dots\dots (11.b)$$

أما المجموعة الثانية من القياسات الحقلية فقد تم اختبار عمق الانجراف المحسوب مع عمق الانجراف المقاس حيث وجد إن نسبة الخطأ فيها قليل جدا مقارنة مع الصيغ الوضعية التي تم ذكرها والتي من الممكن استخدام بعضها لتخمين عمق الانجراف الموقعي حول دعامات جسر الكوفة وخاصة تلك التي تعطي نسبة خطأ قليل كما نلاحظ ذلك في النتائج الموضحة في جدول رقم (٢).
حيث إن:

$$\text{نسبة الخطأ} = (\text{عمق الانجراف المقاس} - \text{عمق الانجراف المحسوب}) / \text{عمق الانجراف المقاس}$$

جدول رقم (٢) قيم عمق الانجراف المحسوب والمقاسة لمعادلات وضعية مختلفة

اسم الباحث	عمق الانجراف المحسوب (م)	عمق الانجراف المقاس (م)	نسبة الخطأ المطلق %
Inglis-Poona	١.٢٤	١.٨٥	٣٣
Shen I	١.٥٨	١.٧٨	١١
Shen II	١.٧٦	١.٨٢	٣
Tor Sethaugen	٨.٠٨	١.٨٥	٣٣٦-
Breusers et al	١٤.٥٦	١.٨٤	٦٩١-
Subhash C. Jain	١.٦٨	١.٧٨	٦
Qadar	١.٢٠٧	١.٨٠	٣٠
The current study	١.٨٨	١.٩٢	٢

٣. الاستنتاجات

- من خلال هذه الدراسة ولغرض تقويم الدعامة الوسطى لجسر الكوفة يمكن أن نستنتج ما يأتي:
١. لم يتجاوز عمق الانجراف الموقعي الحد الحرج لكونه لم يصل إلى عمق أساس الدعامة.
 ٢. إن الجريان حول دعامات جسر الكوفة في أغلب مواسم السنة هو من نوع الجريان الهاديء sub-critical لذلك ليس من المتوقع حدوث حالات انجراف عالي.
 ٣. يمكن تطبيق المعادلة الوضعية التي تم توصل إليها لتخمين عمق الانجراف مستقبلاً (11.b) أو تطبيق إحدى الصيغ المشابهة لظروف الهيدروليكية للموقع والتي تعطي نسبة خطأ قليل وخاصة معادلة Shen II .
 ٤. لنوعية ماله القاع دوراً هاماً في مقدار عمق الانجراف عليه يجب معرفة نوعيته أثناء تخمين عمق الانجراف . وهذا ما أظهرته بعض المعادلات التي أخذت بنظر الاعتبار مادة القاع.

٤. التوصية

- في حالة ارتفاع مناسيب المياه نتيجة فتح بوابات سدة الكوفة الواقعة مقدم الجسر ولفترة طويلة ، يجب إجراء القياسات اللازمة لذلك وتخمين عمق الانجراف حول الدعامة الوسطى لجسر الكوفة.

٥. المصادر

1. Ahmed, F., and Rajaratnam, N., “*Flow around Bridge Piers*” J. Hydr. Eng., ASCE, 124 (3), 1998, pp. 288-300.
2. Stevens M. A., Vittal, N., and Yaumaz, A. M. “*Weak Vortex Scour at Bridge Piers*”, Jr. Hyd. Eng., ASCE, 117 (7), 1991, pp. 891-904.
3. Melville, B. W., Sutharland, A. J., “*Design Method for Local Scour at Bridge Piers*”, Jr. Hyd. Eng., ASCE, 114 (10), 1991, pp. 1210-1226.
4. Ettemb, R., Melville, B. W., and Barkdoll, B., “*Scale Effect in Pier-Scour Experiments*”, Jr. Hyd. Eng., ASCE, 124 (6), 1998, pp. 639-642.
5. Francis, C. K., Ting, Jean-Louis Briaud, and H. G., Chen, “*Flume Tests for Scour in Clay at Circular Piers*”, Jr. Hyd. Eng., ASCE, 124 (11), 2001, pp. 969-978.

6. Breusers, H. N. C., Nicllet, G., and Shen, H. W., “*Local Scour around Cylindrical Piers*”, Jr. Hyd. Res., Delft, the Netherlands, 15 (3), 1977, pp. 221-252.
7. Chiew, Y. M., Melville, B. W., “*Local Scour around Bridge Piers*”, Jr. Hydr. Research, 25-(1), 1989, pp. 15-26.

الرموز المستخدمة في البحث

- A = مساحة المقطع العرضي للنهر (م)
b = عرض الدعامة (م)
d = المسافة الأفقية المقاسة (م)
d₅₀ = معدل حجم حبيبات مادة القاع (ملم)
ds = عمق الانجراف حول الدعامة (م)
F = رقم فرود
Fc = رقم فرود الحرج
g = التعجيل الأرضي (م/ثا)
v = سرعة الجريان (م/ثا)
y = عمق الجريان (م)
x = المسافة الأفقية بين منسوبين (م)