

تأثير منسوب غطاء الركائز في النحر الموضعي حول دعامات الجسور المركبة

نشوان كمال الدين العمري

nashwan.alomari@uomosul.edu.iq

اسراء هاشم صالح

israa.21enp42@student.uomosul.edu.iq

قسم هندسة السدود والموارد المائية، كلية الهندسة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

القبول: 6 أغسطس 2023

استلم بصيغته المنقحة: 13 يونيو 2023

الاستلام: 23 ابريل 2023

الملخص:

يتم إقامة الجسور لتسهيل النقل بين ضفتي الأنهار والتي تكون في معظم الاحيان محمولة على دعامات ذات اشكال هندسية تختلف من جسر الى اخر كالدعامات المركبة وغيرها من الاشكال. نتيجة لتقاطع هذه الدعامات مع جريان المياه تتولد العديد من الدوامات المائية والتي تؤدي الى حدوث نحر موضعي حول الدعامات. يتأثر النحر الموضعي حول الدعامات المركبة بالعديد من العوامل أهمها الشكل الهندسي للدعامة وعوامل هيدروليكية اخرى. في هذه الدراسة تم اجراء مجموعة من التجارب المختبرية لاجراء تأثير منسوب غطاء الركائز وعمق الجريان على مقدار النحر الموضعي باستخدام مواد ذات تدرج منتظم وتحت ظرف جريان ماء خالي من الرسوبيات. تم دراسة ثمان نسب من منسوب غطاء الركائز الى سمك الغطاء Z/T_{pc} تراوحت ما بين 32% الى 50% وستة اعماق مختلفة للجريان (y) ما بين 10.5 سم الى 18 سم. أظهرت النتائج أن أقصى عمق للنحر تم تسجيله هو 10.8 سم عندما كان غطاء الركائز مدفوناً جزئياً ($Z/T_{pc} = 50\%$)، ان عمق النحر يزداد مع ازدياد عمق الجريان ولحد 13.5 سم ثم بعد ذلك يكون تأثير الزيادة في عمق الجريان قليلا على الرغم من زيادة شدة الدوامات بسبب وجود غطاء الركائز التي تمنع وصول تأثير هذه الدوامات الى سطح التربة.

الكلمات الدالة:

دعامات الجسور، الدعامة المركبة، النحر الموضعي، غطاء الركائز .

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

<https://rengj.mosuljournals.com>

Email: alrafidain_engjournal1@uomosul.edu.iq

1. المقدمة:

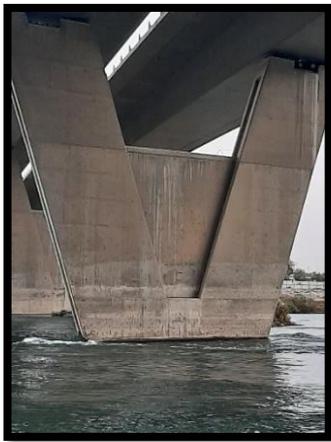
وبالتالي يؤثر على استقرارية هذه المنشآت [9], [10]. بالنسبة للجسور فإن النحر يؤدي الى خفض منسوب مجرى النهر في منطقة الدعامات مما يؤدي الى كشف أسسها او تقليل غطاء التربة وهي من الأسباب الرئيسة لعدم الاستقرار وفشل الدعامة والذي يؤدي الى فشل الجسر بأكمله وإلحاق إصابات خطيرة. حيث تضررت العديد من الجسور في أنحاء مختلفة من العالم، بين الباحث [11] إن 600 جسر فشلت في الولايات المتحدة بسبب مشاكل التعرية خلال ثلاثين عاماً. حيث ان النحر حول دعامات الجسور هو السبب الرئيسي لانحيار الجسور [12], [8], [1]. تفاعل بنية الجريان اي الجريان السفلي والدوامات المختلفة مع العناصر الثلاثة للدعامة (ركائز، غطاء الركائز، أعمدة) [13], [14] ويختلف هذا التأثير مع اختلاف شكل وموقع أي عنصر من هذه العناصر الثلاثة بالإضافة الى تغير عوامل الجريان المختلفة الأخرى.

الباحث [13] قام بدراسة النحر الموضعي في أغطية الدعامات المعقدة حيث أجرى التجارب في ظروف المياه الصافية وكانت المتغيرات الرئيسة للتجارب هي أبعاد الأغطية وكذلك منسوبها، حيث أجرى الباحث التجارب على أربع مناسبات للأغطية كذلك قام بدراسة عمق النحر لكل جزء من أجزاء الدعامة المركبة (الركائز وغطاء الركائز والعمود) وتم اقتراح معاملات تصحيح (kc) كدالة لمنسوب غطاء الركائز وأخذ منسوبها بنظر الإعتبار في

من المنشآت المهمة التي تقام على الأنهار هي الجسور [1] والتي تعتبر من المنشآت الرئيسة والروابط الحيوية والتي يتمخض عن بنائها تقليل المسافة واختصار الجهد وتقليل الوقت [2] ، تحمل هذه الجسور بالغالب على دعامات ذات أشكال هندسية مختلفة تقاطع جريان الأنهار مسبباً تغييراً في نمط الجريان حول هذه الدعامات ، وينتج عنها تولد دوامات جريان للأسفل ودوامات حدوة الحصان والتي تسبب التآكل حول قاعدة الدعامة عن طريق زيادة إجهاد القص الموضعي، [4], [3] بالإضافة الى ذلك فإن فصل الجريان على جانبي الدعامة يخلق مايسمى بدوامات اليقظة (wake vortices) والتي تعمل بمثابة أعاصير ترفع جزيئات الرسوبيات من القعر فيتم تشكيل حفرة النحر حول الدعامة ويزداد حجمها تدريجياً لحين الوصول لحالة التوازن [5]. ان مشكلة النحر كانت ومازالت محور دراسي للعديد من الباحثين مثل [8]–[6] حيث يعمل النحر في المنشآت الهيدروليكية على تآكل ونقل الاملاينات الترابية التي تغطي اساسات هذه المنشآت أجرى الباحث [15] دراسة عمق النحر لمجموعة متنوعة من النماذج بما في ذلك احجام واشكال مختلفة من الدعامات المعقدة وكذلك المناسيب المختلفة لغطاء الركائز اظهرت النتائج التي توصل اليها الباحث ان اجراء اي تغير في منسوب الغطاء يعمل على زيادة وتقليل عمق النحر كذلك تأثير تغيير عرض العمود بالنسبة لعرض غطاء الركائز كذلك تأثير سمك غطاء الركائز على عمق النحر بالإضافة الى تأثير تغيير قطر الركائز. أما

حساب النحر الموضعي حيث يتم إضافة هذه المعاملات الى المعادلات السابقة لحساب النحر الموضعي . كذلك أجرى [16] دراسة عمق النحر تحت ظروف المياه الصافية الضحلة، حيث تم دراسة مجموعة واسعة من الركائز المختلفة الاقطار والمسافة بينها ونسبة الغمر بماء الجريان، حيث اقترح معادلة وضعية توضح تأثير المتغيرات قيد الدراسة وبالاعتماد على نتائج الدراسة تم اقتراح معادلات لوصف تأثير الركائز اذا كانت مدفونة او غير مدفونة في التربة، وبالاعتماد على هذه المعاملات يتم حساب عمق النحر عند الركائز. للتنبؤ بتأثير ترتيب مجموعة الركائز والمسافة فيما بينها ونسبة الغمر على عمق النحر الموضعي. وأجرى الباحث [17] دراسة حول تأثير سمك غطاء الركائز على أقصى عمق للنحر حيث تم إجراء سلسلتين من التجارب بسمكين مختلفين لغطاء الركائز (1 ملم و 5 سم) وأظهرت النتائج أنه كلما كان سمك الغطاء أكبر كلما كانت حفرة النحر أعمق. أما الباحث [18] فقد اختبر خمسة نماذج مختلفة من الدعامات المركبة من ناحية (الركائز، غطاء الركائز، العمود) وقرن تأثير كل مكون من مكونات الدعامات المركبة بشكل منفرد مع الدعامات المركبة ككل ووجد أن طريقة التراكب (Superposition Method) غير كافية لتخمين النحر الكلي لحالات عديدة. أجرى الباحث [19] العديد من الاختبارات والبالغ عددها 14 اختبار لمعرفة التأثير النسبي لعرض العمود الى عرض الغطاء (D_C/D_{PC}) وكذلك التأثير النسبي لموقع الغطاء بالنسبة لعمق الجريان (Z/y)، باستخدام نموذجين من الدعامات المعقدة ذات العمود المستطيل والنهائية المستديرة مركب على غطاء مستطيل ذات نهايات مستديرة حيث تم إجراء ثمان تجارب للنموذج ($D_C/D_{PC}=0.55$) وستة تجارب للنموذج الثاني ($D_C/D_{PC}=0.4$) للمواضع الستة الأكثر صلة التي تم تحليلها باستخدام النموذج الأول. تم تحليل النتائج لكلا النموذجين ولوحظ ان تطور عمق النحر وعمق نحر التوازن يعتمد بشكل مباشر على موضع النموذج (Z/y) كما لوحظ ان النموذج ($D_C/D_{PC}=0.4$) أعطى اعمق نحر أقل من النموذج ($D_C/D_{PC}=0.55$). أجرى الباحث [20] دراسة استخدم فيها سبعة نماذج من الدعامات المركبة لتحديد التأثير النسبي بين عرض العمود (D_C) وعرض الغطاء (D_{PC})، (D_C/D_{PC}) وكذلك التأثير النسبي لمنسوب الغطاء فوق القعر (Z) وعمق الجريان (y)، وكذلك تأثير ترتيب الركائز على عمق النحر وأظهرت النتائج بأن أقصى عمق للنحر في جميع النماذج كان مع غطاء الركائز المدفون جزئياً مع أقل نسبة بين D_C/D_{PC} > 0.6 . أما في حالة $D_C/D_{PC} < 0.6$ فإن تأثير غطاء الركائز يصبح قليلاً. أجرى الباحث [21] دراسة مختبرية لبيان تأثير ارتفاع غطاء الركائز وزاوية الانحراف للدعامات وذلك باستخدام نموذجين للدعامات وتوسع ارتفاعات للغطاء وسبع زوايا انحراف من (0-90) بفواصل 15 درجة، أظهرت النتائج ان زيادة الزاوية ما بين دعامات الجسور المركبة واتجاه الجريان تؤثر بشكل كبير على عمق النحر حيث ان أي انحراف طفيف بزاوية الدعامات يؤدي الى زيادة كبيرة بعرض العمود المواجه للجريان والذي يؤثر بشكل كبير على عمق النحر، بمعنى اخر في حالة أن الأعمدة عمودية على الجريان فإن الجزء المؤثر هو فقط وجه الأعمدة، أما في حالة الأعمدة المائلة فإن الجزء المواجه للجريان هو وجه العمود وعرضه. كما ولوحظ بأن ارتفاع الغطاء يؤثر بشكل كبير على عمق النحر حيث يكون النحر كبير عندما يكون الغطاء بالقرب من القعر ويتناقص بشكل كبير عندما يكون الغطاء مدفون تحت الرمل. كما أجرى الباحث [22] 52 تجربة مختبرية باستخدام اربعة نماذج من الدعامات المركبة وبإغشية بعدة مستويات (مغمور جزئياً، مغمور، مدفون جزئياً، مدفون) وكان الهدف من هذه الدراسة هي جمع مجموعة جديدة من البيانات للبحث حول النحر الموضعي ومراجعة جميع الدراسات السابقة ودمجها وانشاء قاعدة بيانات شاملة تستخدم في دراسة مقارنة المعادلات المتاحة واقتراح معادلة جديدة تفسر بشكل صحيح المتغيرات المهمة مثل ارتفاع غطاء الركائز وسمكه. الباحث [23] فقد أجرى دراسة حول تأثير تباعد الركائز (G) في

حساب النحر المركبة نسبة الى قطر الركيزة (d) على عمق النحر الموضعي وإستنتج أن طول حفرة النحر في مقدمة الدعامات تتناقص مع زيادة G/d بينما عرض حفرة النحر يزداد مع زيادة G/d . قام الباحث [24] باقتراح تحسين نموذج رياضي لتقدير عمق النحر لدعامات الجسور ذات الشكل المركب للتربة الغير متماسكة (Noncohesive). تم اختبار النموذج المحسن وبعض النماذج الشائعة لتقدير عمق النحر لمدى كبير من اشكال الدعامات المركبة ولحالتى ظرف الجريان الماء الصافي وظرف جريان تربة القعر. قام الباحث [25] بتقديم تقرير يتعلّق بتقدير النحر المحتمل حول اثنين من ثلاث ابراج لجسر قناة جاكوا في امريكا الجنوبية حيث تختلف نوعية تربة القعر من برج الى اخر. حيث تم الجمع بين نموذج هيدروديناميكي عالي الدقة يعتمد على معادلات Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations والاختبارات الفيزيائية لعينات التربة في الموقع في جهاز اختبار التآكل الدوار (RETA) والصيغ التجريبية لتقدير عمق النحر للحصول على قيمة موثوقة لعمق النحر حول الدعامات مع وجود المد والجزر للمياه. بينت الدراسة بان عملية تقدير النحر الموضعي لاغراض التصميم الهندسي في التربة المعقدة تحتاج الى رؤية مشتركة للعديد من التخصصات ذات العلاقة من اجل تقليل عدم دقة النحر المقدر. بناءً على مجاء في الدراسات السابقة المتعلقة بدراسة الدعامات المركبة للجسور وتأثيرها على النحر الموضعي، فإن عمق النحر الموضعي يتأثر بعدة عوامل أهمها عوامل شكل مركبات هذه الدعامات (الركائز وغطاء الركائز والاعمدة) بالإضافة الى عوامل الجريان الهيدروليكية. ولهذا فإن البحث الحالي يهدف الى دراسة تأثير شكل معين من أشكال الدعامات المركبة مستوحى من شكل دعامات جسر الموصل الرابع في مدينة الموصل شكل (1). بالإضافة الى ذلك دراسة تأثير ارتفاع الجريان على النحر الموضعي لهذا الشكل من الدعامات المركبة ولظرف جريان الماء الصافي (Clear water condition)، مع دراسة مناسيب غطاء الركائز بالنسبة لمنسوب سطح التربة.

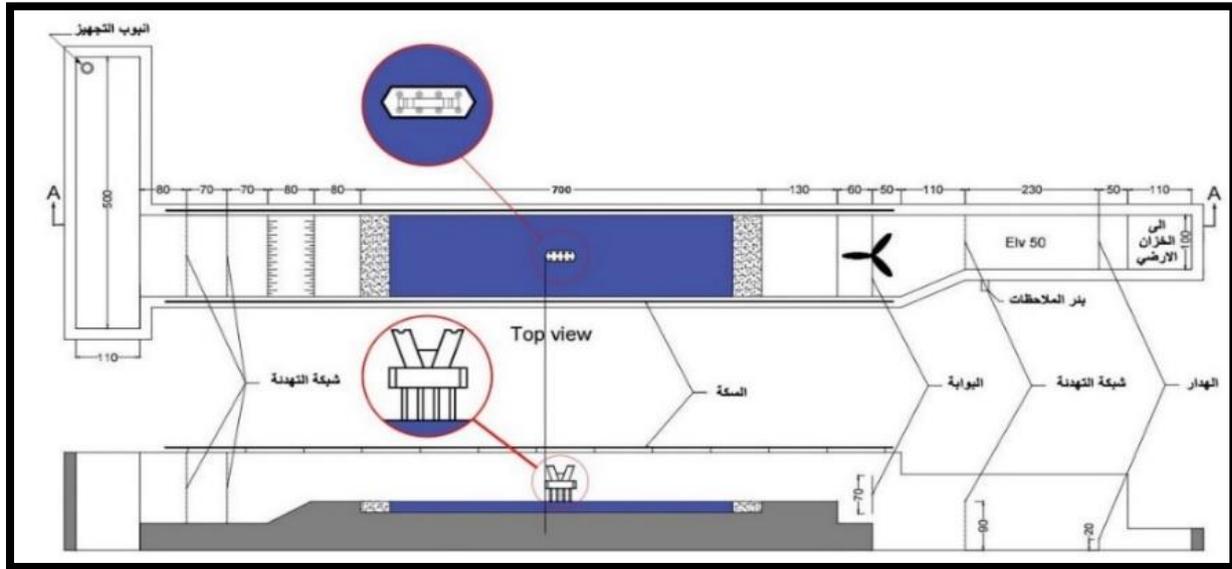


الشكل (1) يوضح دعامات جسر الموصل الرابع

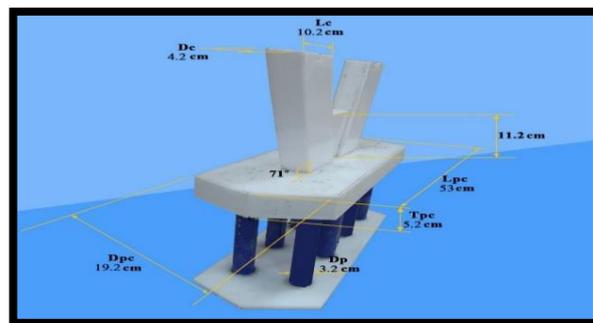
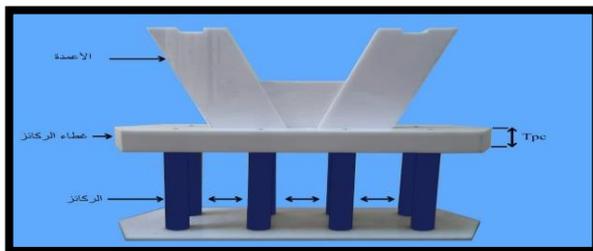
القناة. يتم قياس تصريف الجريان عن طريق هدار ذات حافة حادة مثبتة في نهاية القناة تم معايرته سابقاً من قبل (علي، 2006). يتم السيطرة على كمية التصريف الداخل الى القناة عن طريق صمام (Gate valve) مثبتة في نهاية الأنبوب المغذي وقبل دخول الماء الى القناة. يتم تجهيز المياه باستخدام مضخة يصل أقصى تصريف لها 95 لتر/ثا ويعتمد نظام الجريان على نظام تدوير المياه. حيث يتم ضخ المياه الى القناة ثم تعود الى خزان أرضي أسفل المضخة عن طريق قنوات ناقلية في نظام مائي مغلق. تحتوي القناة على حوض لتهدئة وتسكين الجريان قبل دخوله الى القناة.

2- العمل المختبري:

أجريت التجارب في مختبر الهيدروليك التابع لقسم هندسة السدود والموارد المائية في جامعة الموصل بإستخدام قناة خرسانية مفتوحة مستطيلة المقطع بطول (19.1) م وعرض (1.50) م وعمق (0.7) م الموضحة في الشكل (2) أما منطقة الدراسة فطولها (7) م حيث تم فرش متر في بداية ونهاية منطقة الدراسة بالحصى الناعم أما باقي المنطقة والبالغ طولها 5 متر فقد تم فرشها بطبقة من الرمل المدرج المنتظم (Uniform Sand) بعمق (20) سم. معدل قطر الحبيبات ($d_{50} = 0.8$) ملم وذات إنحراف معياري ($\sigma_g = 1.3$). يتم التحكم بارتفاع الماء وسرعة الجريان داخل القناة عن طريق بوابة منزلقة تم نصبها في نهاية



الشكل (2) مخطط للقناة المختبرية المستخدمة للتجارب



الشكل (3) نموذج الدعامة المستخدمة في التجارب

تم استخدام نموذج من دعامات الجسور المركبة ذات شكل هندسي مقارب الى شكل دعامات الجسر الرابع في الموصل كما في الشكل (3) حيث تتكون الدعامة المركبة من ثلاث عناصر (الركائز وغطاء الركائز والأعمدة). تم صنع الدعامة من مادة البلاستيك ذات سطح أملس تتكون من ركائز إسطوانية عدد (8) بقطر (3.2) سم مرتبة في صفين. وغطاء مستطيل ذات نهايات مدببة طوله L_{PC} (53) سم وعرضه D_{PC} (19.2) سم وسماك T_{PC} (5.3) سم وعمودين مستطيلين مائلين بزاوية (71) درجة، عرض المستطيل D_C (العمودي على الجريان) (4.2) سم وطوله الموازي للجريان L_C (10.2) سم وتربط بينهما قطعة بارتفاع (11.2) سم. تم وضع الدعامة في بداية النصف الثاني من منطقة الدراسة ويتم تسوية مادة القعر قبل البدء بإجراء التجارب. أجريت التجارب بطروف جريان الماء الصافي (Clear Water Condition) أي أن نسبة معدل سرعة الجريان الى السرعة الحرجة لبدء حركة مواد القعر (شدة الجريان) $0.9 = (V/V_C)$ كما موضح بالجدول (1). حيث تم اعتماد معادلة (Melville and Sutherland, 1988) وحساب السرعة الحرجة لبدء حركة مواد القعر (معادلة (1)) [26].

$$\frac{V_c}{V_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \dots (1)$$

التحليل لبيان تأثير تغيير أعماق الجريان وكذلك تأثير تغيير منسوب غطاء الركائز على أقصى عمق نحر موضعي حول الدعامة المركبة.

1.3 تأثير تغيير أعماق الجريان على عمق النحر

من أجل دراسة تأثير تصاريح وأعماق جريان مختلفة على النحر الموضعي حول دعامات الجسور المركبة تم أخذ ست إرتفاعات مختلفة لعمق الجريان وهي (10.5، 12، 13.5، 15، 16.5، 18) سم. لجميع أعماق الجريان المختلفة تم إختيار منسوب غطاء الركائز $Z/T_{PC} = 50\%$ ، حيث أن Z : المسافة من أعلى غطاء الركائز إلى مستوى الرمل، T_{PC} : سمك غطاء الركائز. كما هو معروف بالنسبة للنحر الموضعي حول دعامات الجسور الإعتيادية إن عمق النحر يزداد بزيادة عمق الجريان ولغاية $4 - 3 < y/b < 27$ [27] وبعدها يصبح الإرتفاع غير مؤثر حيث أن y هو عمق الجريان و b هو عرض العمود أو الدعامة. في هذه الدراسة فإن عمق الجريان إلى عرض العمود المواجه للجريان (y/D_C) بين (2.5-4.28) وعمق الجريان إلى عرض الغطاء المواجه للجريان (y/D_{PC}) بين (0.55-0.937). تم رسم أقصى عمق نحر متشكل حول الدعامة المركبة خلال فترة التجربة للحالات الستة المختلفة من إرتفاع الجريان كما في الشكل (4)، يتبين من الشكل أن نسبة كبيرة من عمق النحر قد حصل في أول 10 دقائق حيث تتراوح نسبته بين (55.8-82.95)% من عمق النحر المتشكل في نهاية زمن التجارب والبالغ 3 ساعات حيث أن الدوامات التي تتشكل في منطقة النحر تعمل على نقل التربة من هذه المنطقة وبطاقة عالية في بداية التشغيل وتقل قابلية هذه الدوامات على نقل التربة من موقع حفرة النحر مع اتساع حجم الحفرة [28]. كذلك من ملاحظة الشكل (4) يتبين أن أقصى عمق للنحر الموضعي يزداد بشكل كبير بزيادة عمق الجريان ولغاية 13.5 سم أي لحالة ($y/D_{PC} < 0.7$ و $y/D_C < 3.2$). أما بالنسبة لأعماق الجريان الأكبر من 13.5 سم أي لحالة ($y/D_{PC} > 0.7$ و $y/D_C > 3.2$) فإن الإختلاف ضئيل جداً في قيم أعماق النحر الموضعي حيث لوحظ في هذا الشكل من الدعامات عندما يرتطم الماء بالعمود فسوف تتكون دوامات منحية من أعلى الجريان ويتجه الأسفل وإن هذه الدوامات ترتطم بغطاء الركائز ولا يصل تأثيرها إلى تربة القعر، أي أن معظم النحر حول هذا الشكل من الدعامات المركبة هو ناتج من غطاء الركائز والركائز في حالة كشفها وليس هناك تأثير كبير للأعمدة كون غطاء الركائز يقوم بحماية التربة من الدوامات المتشكلة نتيجة للأعمدة ويشكل حاجز بين الأعمدة و سطح التربة.

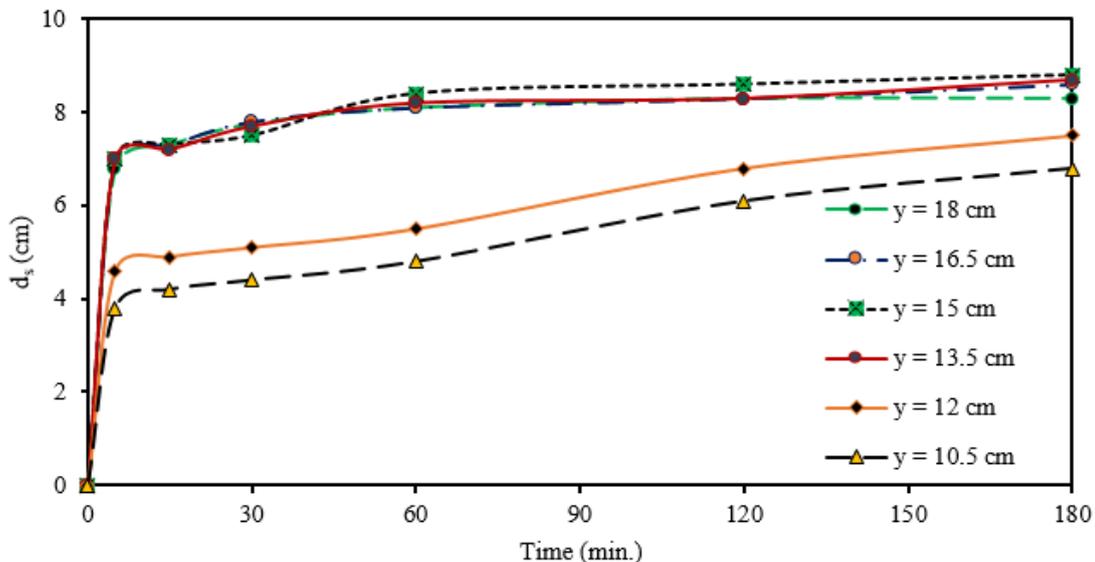
حيث أن V_c سرعة القص الحرجة لبدء حركة مواد القعر والتي يتم حسابها باستخدام Shield diagram و y إرتفاع الجريان. تم أخذ ستة إرتفاعات للجريان تتراوح ما بين 10.5 سم إلى 18 سم مع منسوب غطاء الركائز $Z/T_{PC} = 50\%$ وذلك من أجل دراسة تأثير عمق الجريان على أقصى عمق للنحر. وبعد ذلك تم أخذ ثمان مناسيب لغطاء الركائز $Z/T_{PC} = (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150)\%$ مع إرتفاع جريان ثابت 15 سم وذلك لدراسة تأثير منسوب غطاء الركائز على أقصى عمق نحر. قبل البدء بالتجربة يتم تسوية مادة القعر وتغذية القناة ببطء ومن ثم زيادة التصريف تدريجياً إلى أن يصل إلى التصريف وعمق الجريان المطلوبين عن طريق التحكم بالصمام والبوابة المنزلة في نهاية القناة بعد ذلك تترك القاع الرسوبية لتتعرض لعملية النحر، خلال هذه الفترة يتم قياس عمق النحر مع الزمن باستخدام المقياس النقطي (Point Gage) وبدقة 0.1 ملم المثبت على عربة حديدية تتحرك فوق جدران القناة. يتم الاستمرار في العملية لحين أن يصبح النحر في منطقة تواجد دعامات الجسر ضئيلاً جداً والقعر يصل حالة الاستقرار، حيث كانت الفترة الزمنية للتشغيل في كل تجربة بمقدار 3 ساعات. بعد الإنتهاء من التجربة يترك الماء بالإنحسار ويتم عمل مشبك للمنطقة المطلوبة لقياس مقدار التغير بمنسوب القعر حيث تتغير كثافة التشبيك بحسب مقدار التغير بالقعر.

الجدول (1) حساب السرعة و التصاريح

التصريف (لتر/ثا)	V (م/ثا)	V/VC	VC (م/ثا)	عمق الجريان (سم)
0.048	0.304	0.9	0.338	10.5
0.056	0.311	0.9	0.345	12
0.064	0.316	0.9	0.351	13.5
0.072	0.32	0.9	0.357	15
0.081	0.327	0.9	0.362	16.5
0.089	0.329	0.9	0.366	18

3- تحليل النتائج:

البيانات التي تم جمعها من خلال العمل المختبري للحالات المختلفة وتحت ظروف الجريان المتعددة فقد استخدمت في



الشكل (4) العلاقة بين عمق النحر وزمن التشغيل لأعماق الجريان المختلفة

ودامة حدوة الحصان)، وهذا يتفق أيضاً مع ما جاء به الباحث [17] تبين أنه عند وضع غطاء الركائز فوق التربة يبدأ النحر امام غطاء الركائز وامتد الى تحت الغطاء امام الركائز وكان اقصى عمق للنحر عندما كان الغطاء مدفون $Z/T_{PC} = 50\%$. وهذا أيضاً يتفق مع [17], [19], [20] حيث امتد النحر الى تحت الغطاء ووصل الى الركائز الأخيرة ثم انخفض عمق النحر بعد ذلك عند $Z/T_{PC} = 75\%$. وفي حالة وضع غطاء الركائز فوق مستوى الرمل $Z/T_{PC} = 100\%$ أكبر ويساوي 100% فإن عمق النحر ينخفض بزيادة المسافة بين أعلى الغطاء ومستوى الرمل، كما موضح بالشكل (5) وذلك بسبب أنه كلما كان غطاء الركائز قريب من القعر فإنه يعترض جريان الماء وتتشكل الدوامات حيث ان قوة وتأثير هذه الدوامات تزداد كلما اقترب الغطاء من تربة القعر [17].

لتحديد موقع أقصى عمق محتمل تم رسم الشكل (6) والذي يوضح المقاطع الطولية للتربة وبمركز الدعامة ولحالات Z/T_{PC} من 0% إلى 150% . حيث يلاحظ من الشكل أن موقع أقصى عمق للنحر يكون ما بين بداية غطاء الركائز وأول ركيزة في حالة كون $Z/T_{PC} (50,0) \%$ بينما تندفع مركز حفرة النحر باتجاه مؤخر الدعامة ويصبح مركز الحفرة تقريباً أسفل الركيزة الأولى في حالات $(25, 75, 100, 125, 150) \%$ أما في حالة $Z/T_{PC} = 32\%$ فلم يتم تشبيك منطقة النحر وذلك بسبب أن أقصى عمق للنحر كان ضئيلاً ولا يكاد يذكر حيث كان أقصى عمق نحر على طرفي غطاء الركائز ولا يتجاوز عن 2.6 سم. كذلك تم رسم الخريطة الكنتورية لقعر التربة في حالة غطاء الركائز $Z/T_{PC} = 0\%$ كما في الشكل (7) حيث نلاحظ من الشكل ان أقصى عمق للنحر لم يمتد الى ركائز الصف الأول، بينما الشكل (8) يوضح الخريطة الكنتورية لقعر التربة في حالة $Z/T_{PC} = 75\%$ حيث نلاحظ من الشكل ان ركائز الصف الأول واقعة في مركز الحفرة.

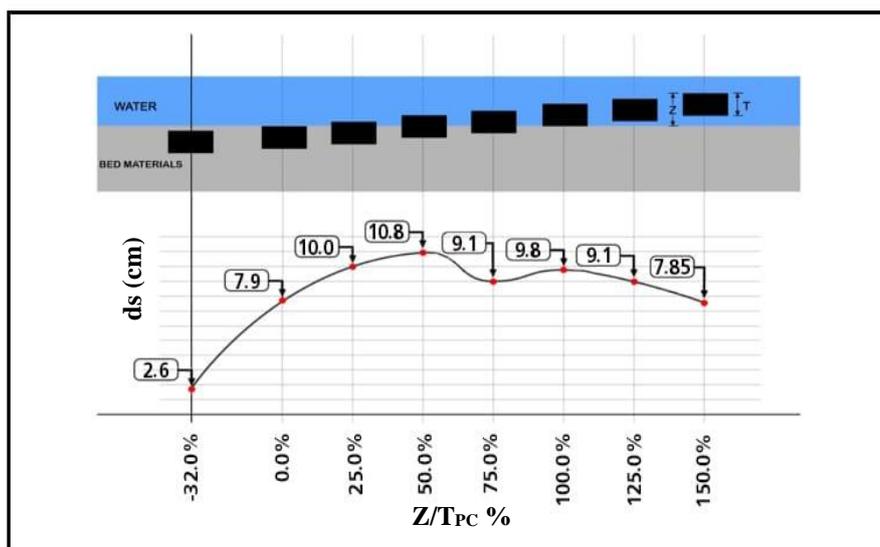
2.3. تأثير منسوب غطاء الركائز على النحر

من احدى اهداف هذه الدراسة ايجاد تأثير منسوب السطح العلوي لغطاء الركائز بالنسبة لمنسوب تربة القعر (Z) على النحر. تم تثبيت عمق جريان عند قيمة 15 سم وبتصريف قدره 72.335 لتر/ثا مع استخدام عدة مناسيب لغطاء الركائز بالنسبة للتربة القعر. تم أخذ هذه المناسيب على شكل قيم لابعدية بقسمتها على سمك غطاء الركائز (T_{PC}). إذ تم دراسة ثمانية نسب مختلفة لمنسوب غطاء الركائز $Z/T_{PC} = (-32, 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150) \%$. على ضوء نتائج وسلوك النحر الحاصل اثناء اجراء التجارب يمكن تقسيم تأثير منسوب غطاء الركائز الى ثلاث مجاميع وكما يلي:

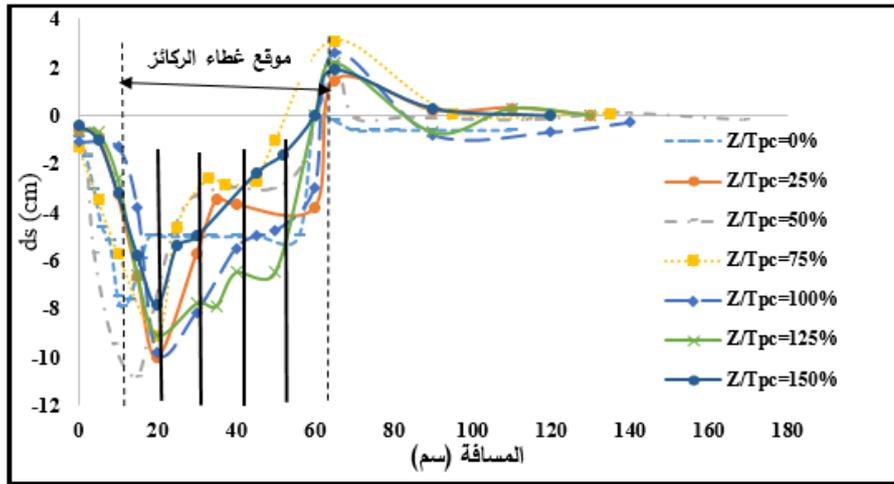
أ. في حالة كون (Z/T_{PC}) صفر أو أقل من الصفر (0% و -32%) في هذه الحالات فإن الأجزاء الفعالة والمؤثرة على أقصى عمق للنحر فقط الجزء العلوي وهو الأعمدة فقط في بادئ الأمر ويدخل بعد ذلك تأثير غطاء الركائز والركائز في حال كشفها.

ب. في حالة كون (Z/T_{PC}) أكبر من 0% ولغاية 100% في هذه الحالة فإن الأجزاء الفعالة هي الأعمدة وغطاء الركائز ويختلف تأثير غطاء الركائز حسب قيمة (Z/T_{PC}) ويدخل تأثير الركائز في حال كشفها.

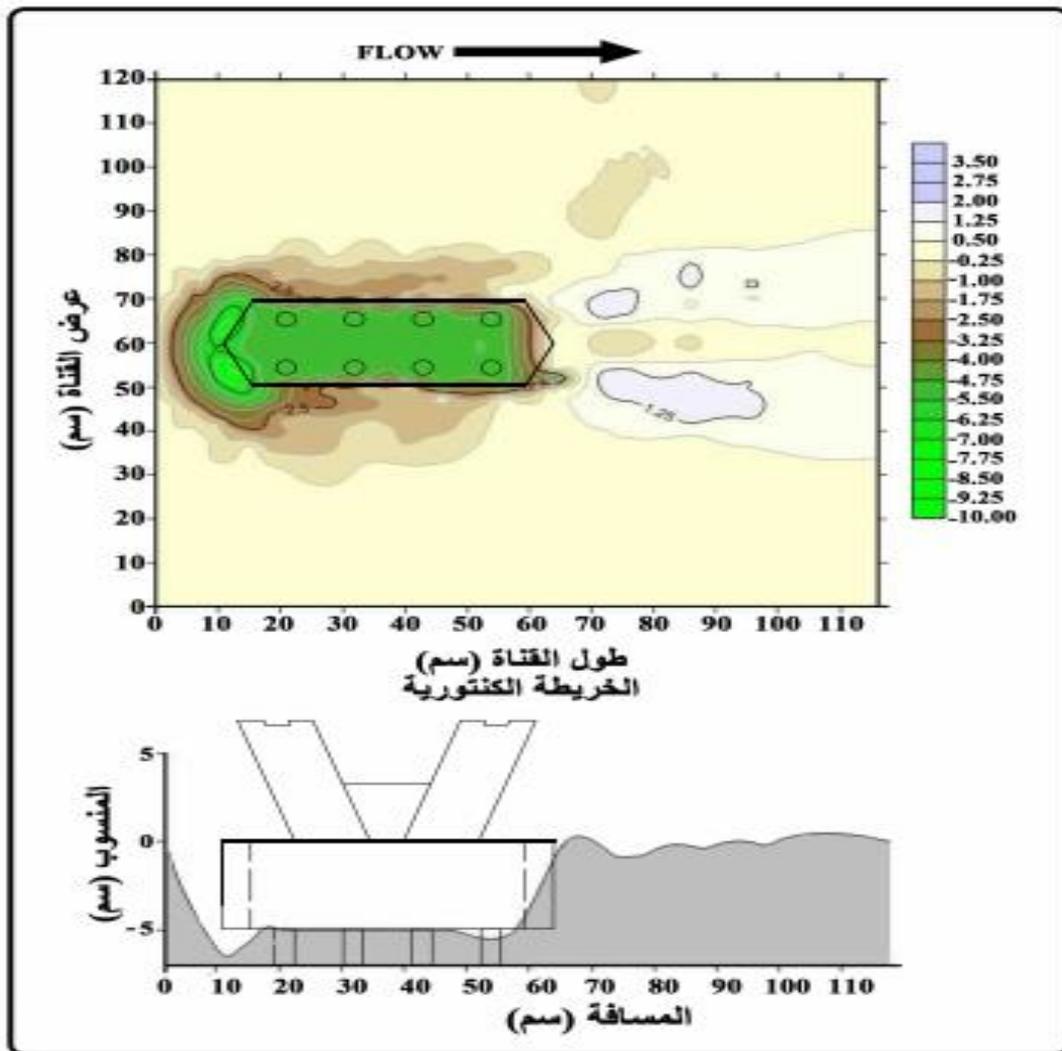
ج. في حالة كون (Z/T_{PC}) أكبر من 100% في هذه الحالة فإن الأجزاء الثلاثة لمكونات الدعامة المركبة تكون على تماس مباشر مع الجريان وتؤثر على عمق الجريان منذ بداية التشغيل. الشكل (5) يبين قيم أعظم قيم للنحر مسجل خلال فترة تشغيل التجارب وللحالات المختلفة من منسوب غطاء الركائز. في حالة دفن الغطاء بالكامل تحت الرمل $Z/T_{PC} = -32\%$ فإن أقصى عمق للنحر كان أمام العمود وكان ضئيلاً وهذا يعني ان تأثير العمود كان قليلاً على النحر وهذا يتفق مع [17], [21]. أما في حال كون غطاء الركائز مدفون بمستوى الرمل $Z/T_{PC} = 0\%$ فإنه يحصل تأخير في اختراق النحر أسفل الغطاء. على العكس من ذلك فيمجرد تعرض جزء من الغطاء للجريان كما في حال $Z/T_{PC} = 25\%$ فإنه يؤثر على الطبقة الحدودية مما يؤدي الى تطور الجريان السفلي ونظام الدوامات حول الغطاء مما ينتج عنه معدل نحر أعلى نسبياً وهذا يتفق مع نتائج الباحث [17]. أما في حالة دفن غطاء الركائز بشكل جزئي Z/T_{PC} ما بين $(25-75) \%$ فإن غطاء الركائز يعترض جزء أكبر من الجريان وتحويله نحو القعر مما زاد من قوة العوامل المسببة للنحر (التدفق السفلي



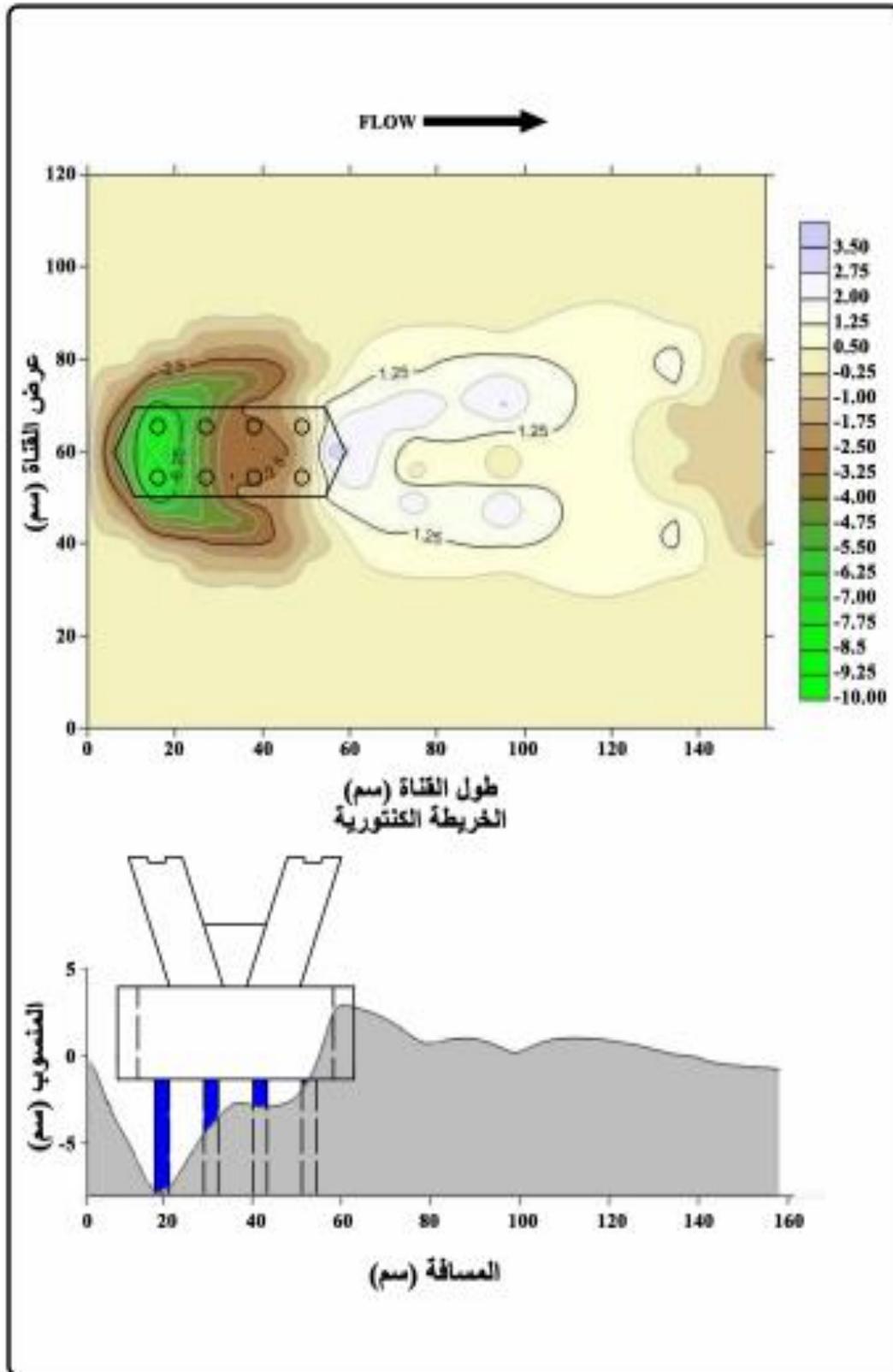
الشكل (5) يبين أعظم قيم نحر مسجلة خلال التجارب وللحالات المختلفة من منسوب غطاء الركائز



الشكل (6) يوضح المقاطع الطولية عند منتصف عرض غطاء الركائز لمنسوب الغطاء Z/TPC بين 0% الى 150%



الشكل (7) يوضح الخارطة الكنتورية لقرع التربة لحالة غطاء الركائز ($Z/T_{PC} = 0\%$)



الشكل (8) يوضح الخارطة الكنتورية لقرع التربة لحالة غطاء الركائز ($Z/T_{PC} = 75\%$)

جزئياً، فإن أقصى عمق للنحر يزداد كلما زاد منسوب غطاء الركائز ولغاية $Z/T_{PC} = 50\%$ حيث تم تسجيل أقصى أعماق للنحر (10، 10.8) سم لمناسيب الغطاء $Z/T_{PC} = (25، 50)\%$ على التوالي حيث كانت مقدار الزيادة 7.4%، ثم يقل ويكون أقصى عمق للنحر في حالة الغطاء $Z/T_{PC} = 75\%$ حيث سجل 9.1 سم. أما في حالة $Z/T_{PC} = 100\%$ أي مكشوف بالكامل فإن أقصى عمق للنحر سجل 9.8 سم ويقل النحر تدريجياً كلما ارتفع عن سطح التربة أي أن Z/T_{PC} أكبر من 100% وذلك لكون أن غطاء الركائز يعترض الجريان بشكل أكبر كلما كان قريباً من سطح التربة حيث تم تسجيل أقصى عمق للنحر في حالة $Z/T_{PC} = (125، 150)\%$ (9.1، 7.85) سم على التوالي أي أن نسبة التقليل مقارنة بحالة منسوب الغطاء $Z/T_{PC} = 100\%$ هي (7.69، 24.84) %.

قائمة الرموز

y	ارتفاع الجريان
b	عرض الدعامة المفردة
L_{PC}	طول غطاء الركائز
D_{pc}	عرض غطاء الركائز
L_C	طول المستطيل للعمود
D_C	عرض المستطيل للعمود.
T_{PC}	سمك غطاء الركائز.
Z	المسافة من أعلى الغطاء الى مستوى القعر قبل النحر.
D_P	قطر الركائز.
ds	أقصى عمق للنحر.
G	المسافة بين الركائز.

الإستنتاجات:

تضمن البحث الحالي دراسة تأثير منسوب غطاء الركائز بالنسبة لمنسوب قعر التربة (Z/T_{PC}) وتأثير تغير عمق الجريان على النحر حول دعامات الجسور المركبة مختبرياً تحت ظرف شدة الجريان $V/V_C = 0.9$ في جميع التجارب وباستخدام ماء صافى. تضمنت مناسيب غطاء الركائز مابين أن يكون الغطاء مدفوناً بشكل كامل أو جزئياً أو ظاهر بالكامل ولعمق جريان 15 سم. أما بالنسبة لعمق الجريان، شمل البحث دراسة ست ارتفاعات مختلفة لعمق الجريان لحالة النموذج ذات غطاء ركائز مدفوناً جزئياً ($Z/T_{PC} = 50\%$) مابين 10.5 الى 18 سم. إعتماً على نتائج هذه الدراسة تم الحصول على النتائج التالية:

1. بالنسبة لتأثير زيادة عمق الجريان على أقصى عمق للنحر ولحالة $Z/T_{PC} = 50\%$ لغاية $y/D_{PC} \leq 0.7$ ، $y/D_{PC} \leq 3.2$ أي لغاية عمق جريان 13.5 سم. حيث كان أقصى عمق نحر (6.6، 7.6، 11) سم لأعماق جريان (10.5، 12، 13.5) سم على التوالي. أما قيم عمق الجريان الأكبر من 13.5 سم أي بنسب أكبر من النسب أعلاه فإن زيادة عمق الجريان لا تؤثر بشكل كبير على أقصى عمق للنحر حيث كان أقصى عمق للنحر (10.8، 10.7، 10.9) سم لأعماق جريان (15، 16.5، 18) سم. فقد وجد أن غطاء الركائز يمنع وصول التأثير السلبي للدوامات المتشكلة من الأعمدة الى سطح التربة.

2. فيما يتعلق بتأثير منسوب غطاء الركائز على النحر فعندما يكون الغطاء مدفوناً بشكل كامل فإن النحر يزداد كلما ارتفع منسوب الغطاء وأصبح بعيداً عن سطح التربة، فقد كانت أقصى أعماق نحر (2.6، 7.9، 10، 10.8) سم لمناسيب الغطاء $Z/T_{PC} = (0، 25، 50، 32)\%$ على التوالي أي ان نسبة الزيادة لأقصى عمق نحر مقارنة مع منسوب الغطاء المدفون تحت سطح التربة $Z/T_{PC} = 32\%$ والذي سجل أقل عمق للنحر كانت (67، 74، 76)% على التوالي. أما في حالة كون غطاء الركائز مدفوناً

المصادر:

- Noori, "Laboratory comparison study of scour downstream weirs and communed gates," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 17, no. 5, pp. 60–75, 2009.
- [8] I. A. I. Al-Hafith and B. M. A. Noori, "Laboratory Study Of Scour Downstream Gabions Protecting Rockfill Weirs," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 15, no. 4, pp. 1–15, 2007.
- [9] N. K. Alomari, B. Yusuf, T. A. Mohammad, and A. H. Ghazali, "Experimental investigation of scour at a channel junctions of different diversion angles and bed width ratios," *Catena*, vol. 166, pp. 10–20, 2018.
- [10] N. K. Alomari, P. Sihag, A. M. Sami Al-Janabi, and B. Yusuf, "Modeling of scour depth and length of diversion channel flow system with soft computing techniques," *Water Supply*, 2023.
- [11] L. J. Prendergast and K. Gavin, "A review of bridge scour monitoring techniques," *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 138–149, 2014.
- [12] M. Safar Alyas Michael Al-Saffar and K. S. Al-Shaikh-Ali, "Riprap Gradation Effect On Local Scour Around Bridge Piers," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 16, no. 1, pp. 56–68, 2008.
- [13] S. Ata Amini, T. A. Mohammad, A. A. Aziz, A. H. Ghazali, and B. B. K. Huat, "A local scour prediction method for pile caps in complex piers," in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2011, vol. 164, no. 2, pp. 73–80.
- [1] M. I. Alsaidi, G. A. A.-M. Hayawi, and M. A. Alsawaf, "Study of Scour Around Cylindrical Bridge Piers with Circular Openings," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 25, no. 2, pp. 66–74, 2020.
- [2] S. A. Hosseini, M. Osroush, A. A. Kamanbedast, and A. Khosrojerrdi, "The effect of slot dimensions and its vertical and horizontal position on the scour around bridge abutments with vertical walls," *Sādhanā*, vol. 45, no. 1, pp. 1–16, 2020.
- [3] C. Grimaldi, R. Gaudio, F. Calomino, and A. H. Cardoso, "Countermeasures against local scouring at bridge piers: slot and combined system of slot and bed sill," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 135, no. 5, pp. 425–431, 2009.
- [4] E. Sanadgol, M. Heidarpour, and R. Mohammadpour, "Reduction of local scouring at round-nosed rectangular piers using a downstream bed sill," *J. South african Inst. Civ. Eng.*, vol. 63, no. 3, pp. 62–70, 2021.
- [5] M. Esmaeili Varaki, N. Tavazo, and A. Radice, "Using a Bed Sill as a Countermeasure for Clear-Water Scour at a Complex Pier with Inclined Columns Footed on Capped Piles," *Hydrology*, vol. 9, no. 4, p. 65, 2022.
- [6] A. Y. Abdulhafedh, N. K. Alomari, and A. M. S. Al-Janabi, "Scour hole reduction at a diversion channel junction using different entrance edge shapes," *Int. J. Sediment Res.*, 2023.
- [7] A. AA Alkatan, M. YM Aljubori, and B. MA

- [21] Y. Yang, B. W. Melville, D. M. Sheppard, and A. Y. Shamseldin, "Clear-water local scour at skewed complex bridge piers," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 144, no. 6, p. 4018019, 2018.
- [22] D. A. Baghbadorani, B. Ataie-Ashtiani, A. Beheshti, M. Hadjzaman, and M. Jamali, "Prediction of current-induced local scour around complex piers: Review, revisit, and integration," *Coast. Eng.*, vol. 133, pp. 43–58, 2018.
- [23] Y. Yang, M. Qi, X. Wang, and J. Li, "Experimental study of scour around pile groups in steady flows," *Ocean Eng.*, vol. 195, p. 106651, 2020.
- [24] D. M. Sheppard, B. Melville, and Y. Yang, "Local Equilibrium Sediment Scour Prediction at Bridge Piers with Complex Geometries," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 149, no. 4, p. 4023003, 2023.
- [25] F. Martinez, P. Winckler, L. Zamorano, and F. Landeta, "Bridge Pier Scour in Complex Environments: The Case of Chacao Channel in Chile," *Water*, vol. 15, no. 2, p. 296, 2023.
- [26] A. Y. Abdalhafedh and N. K. Alomari, "The effect of entrance edges shape of the diversion channel on the dividing streamlines behavior at the junction region," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 26, no. 2, pp. 218–226, 2021.
- [27] B. W. Melville, "Pier and abutment scour: integrated approach," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 123, no. 2, pp. 125–136, 1997.
- [28] N. MOHAMMED, "Modelling water and sediment flow in branching channel system." Doctoral dissertation, Universiti Putra Malaysia, 2017.
- [14] A. A. Beheshti and B. Ataie-Ashtiani, "Experimental study of three-dimensional flow field around a complex bridge pier," *J. Eng. Mech.*, vol. 136, no. 2, pp. 143–154, 2010.
- [15] B. Ataie-Ashtiani, Z. Baratian-Ghorgghi, and A. A. Beheshti, "Experimental investigation of clear-water local scour of compound piers," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 136, no. 6, pp. 343–351, 2010.
- [16] A. Amini, B. W. Melville, T. M. Ali, and A. H. Ghazali, "Clear-water local scour around pile groups in shallow-water flow," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 138, no. 2, pp. 177–185, 2012.
- [17] D. Ferraro, A. Tafarajnoruz, R. Gaudio, and A. H. Cardoso, "Effects of pile cap thickness on the maximum scour depth at a complex pier," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 139, no. 5, pp. 482–491, 2013.
- [18] A. Amini, B. W. Melville, and T. M. Ali, "Local scour at piled bridge piers including an examination of the superposition method," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 41, no. 5, pp. 461–471, 2014.
- [19] M. Moreno, A. Muralha, L. Couto, R. Maia, and A. H. Cardoso, "Influence of column width on the equilibrium scour depth at a complex pier," in *Proceedings of 36th IAHR World Congress, The Hague, The Netherlands*, 2015, vol. 28.
- [20] M. Moreno, R. Maia, and L. Couto, "Effects of relative column width and pile-cap elevation on local scour depth around complex piers," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 142, no. 2, p. 4015051, 2016.

The Effect of the Piles Cap Elevation on Local Scour around Complex Bridge Piers

Israa Hashim Salih

israa.21enp42@student.uomosul.edu.iq

Nashwan K. Alomari

nashwan.alomari@uomosul.edu.iq

Dams and Water Resources Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

Received: April 23th 2023 Received in revised form: June 13th 2023 Accepted: August 6th 2023

Abstract

Bridges are built to facilitate transportation between the two banks of the rivers and waterways. They are usually supported by piers with geometric shapes that differ from one bridge to another, such as a complex pier. Due to the intersection between bridge piers and water flow, many water vortices are generated, causing local scour around the bridge piers. Local scour around the complex piers is affected by many factors, including the geometry of the piers and other hydraulic factors. In this study, a number of laboratory experiments were conducted to investigate the effect of the pile cap elevation and water depth on local scour around complex pier piers using materials with a regular gradient and under the condition of sediment-free water flow. Eight ratios of the pile cap elevation to the cap thickness Z/T_{pc} were studied, ranging from -32% to 50%, and six different flow depths (y) between 10.5 cm and 18 cm. The results showed that the maximum scour depth was recorded to be 10.8 cm when the pile cap was partially covered with a sand bed ($Z/TPC = 50\%$), the depth of scour increased with the increase in water depth up to 13.5 cm, then the effect of the increase in water depth was slight, although increasing the intensity of the vortices due to the presence of the piles covering that prevent the impact of these vortices from reaching the soil surface.

Keywords:

Bridge piers; Complex piers; Local scour; Piles cap.