

تأثير تغيير شكل المقطع العرضي على قدرة تحمل نماذج أوتاد بيتونية مسبقة الصنع مدقوقة في الرمل مخبرياً.

سلمان حيدر¹، د. م. مياسة ملحم²، أ.د.م. عبد المنير نجم

¹طالب دكتوراه في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

²مدرسة في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية لهندسة المدنية - جامعة دمشق.

³أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

الملخص:

تعد الأساسات الوتدية أحد الحلول الهامة كأساس للمنشآت الهندسية وهذا ما جعل الباحثين يعملون على تطوير مجال عملها لمختلف أنواع الترب ومن ضمن هذه المجالات مسألة الأوتاد المدقوقة في الرمل التي تعد مشكلة بحثاً.

في حالة الأوتاد المدقوقة فإن الاجهادات الواصلة إليها توزع إلى التربة المحيطة عن طريق آليتين منفصلتين الأولى عن طريق رأس الوتد الذي يرتكز على التربة أسفله، والثانية بنتيجة الاحتكاك المتكون على السطح الجانبي للوتد مع التربة المحيطة. إن الأبحاث في مجال الأوتاد مستمرة بهدف دراسة وفهم هاتين الآليتين وحساب طاقة تحمل الوتد وتطويرها بطرق متعددة.

يعمد الباحثون حالياً إلى رفع طاقة تحمل الأوتاد عن طريق الاستفادة من تغيير الخواص الهندسية لها، حيث يتم زيادة مساحة السطح الجانبي عن طريق تغيير شكل المقطع العرضي باستخدام مقاطع عرضية بشكل X ومقاطع بشكل Y، فمساحة السطح الجانبي لهذه الأوتاد أعلى من تلك التي تملك مقاطع دائرية أو مربعة ولها نفس مساحة المقطع العرضي.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير تغيير شكل المقطع العرضي على قيمة قدرة التحمل القصوى لنماذج أوتاد بيتونية مسبقة الصنع مدقوقة في تربة رملية، وذلك عن طريق إجراء اختبار تحميل على ثلاث نماذج مخبرية بمقطع عرضي مربع واخر بمقطع عرضي بشكل X وثالث بمقطع عرضي بشكل Y جميع النماذج لها مساحة مقطع متساوية وعمق غرس متساوي ضمن طبقة الرمل، لكن مساحة السطح الجانبي متغيرة فالنموذج X هو الأكبر مساحة يليه النموذج Y يليه النموذج المربع، اظهرت نتيجة التجارب سلوك واحد للنماذج تحت تأثير الاحمال الشاقولية، ولكن لوحظ أن الحمولة الحدية تختلف باختلاف شكل المقطع حيث تزداد بازدياد مساحة السطح الجانبي للنموذج.

الكلمات المفتاحية: وتد احتكاك، مقطع الوتد، مقطع بشكل X، مقطع بشكل Y، نموذج مخبري، وتد في الرمل.

تاريخ الإيداع: 2022/5/7

تاريخ القبول: 2022/6/2



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

The Effect Of Changing The Shape Of Cross Section On Bearing Capacity Of Precast Concrete Model Piles Driven In Sand In The Laboratory.

Salman Haidar¹, Dr, Maiasa Mlhem²,
Prof. Abdulmunir Najem³

¹PhD student Geotechnical Engineering Department –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

²Assistant professor - Geotechnical Engineering Department –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

³Professor - Geotechnical Engineering Department –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

Abstract

Piles foundations are one of the important solutions as structures foundations, that motivate researchers to develop their working field in most soils, and among these fields is the issue of driven piles in sand which is the base of this research.

In case of driven piles, carried stresses are distributed into surrounding soils via two separate mechanisms, the first through pile tip to the soil below, and the second is friction developed between pile shaft and surrounding soil, researches continues in pile filed to fully understand those two mechanisms and calculating and developing pile bearing capacity using deferent methods.

Currently researchers enhancing bearing capacity by changing geometrical properties, as the shaft aria is increased by changing cross section shape, using X shaped cross sections and Y shaped cross sections, where shaft area of these piles are higher than piles with square or circular cross sections with the same area.

The aim of this research is to study the effect of changing cross section shape on ultimate bearing capacity of precast concrete model piles driven in sand, by conducting loading tests on three laboratory model piles, the first with square cross section the second is X shaped and the third is Y shaped cross section, all models have the same cross section area , and the same length driven in sand, but shaft area changes, the X model have the highest shaft area, followed by Y model, then the square model, the test showed similar behavior under axial loads, but ultimate bearing capacity defers with cross section, and increase with the increase of shaft area.

Keywords: Friction Pile, Pile Cross Section, X Section Pile, Y Section Pile, Pile In Sand.

Received: 7/5/2022

Accepted: 2/6/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1. مقدمة:

تستخدم الأساسات الوتدية لتأمين نقل أحمال المنشأ المقام عليها، عندما تكون التربة أسفل المنشأ ضعيفة أو غير قادرة على تلقي الأحمال المنقولة من المنشأ بصورة آمنة. تعمل الأوتاد على نقل الحمل بالارتكاز إلى الطبقة الصخرية أو طبقة التربة العميقة القادرة على تلقي الإجهادات بصورة آمنة.

بحال كانت الطبقات ذات الخواص الهندسية الجيدة متواجدة على أعماق كبيرة، يتم تصميم الأوتاد لنقل الإجهادات عن طريق الإحتكاك على السطح الجانبي مع التربة المحيطة بها والإرتكاز على التربة تحتها.

تصنف الأوتاد بحسب طبيعة تنفيذها إلى أوتاد إزاحة كالأوتاد مسبقة الصنع المدفوقة (Driven piles) والأوتاد المغروسة بالاهتزاز (Vibration piles) أو الضغط (Jacked piles) والتي تسبب انزياح كتلة من التربة حولها أثناء التنفيذ ليستقر الوتد مكانها مسبباً تغير في مواصفات التربة المحيطة والحالة الإجهادية لها، وأوتاد بلا إزاحة كالأوتاد المحفورة مسبقة الصنع أو المنفذة في المكان، اختيار نوع الوتد وآلية التنفيذ يرتبط بشروط الموقع نفسه وشروط المنطقة المحيطة به، كما تصنف أوتاد الإزاحة إلى قسمين (High Displacement piles) أوتاد ذات إزاحة كبيرة كالأوتاد الخشبية والأوتاد البيتونية مسبقة الصنع بأنواعها والأوتاد المعدنية الانبوبية ذات النهاية المغلقة، وأوتاد إزاحة منخفضة كالأوتاد المعدنية ذات المقاطع (H & I).

الأوتاد البيتونية مسبقة الصنع المدفوقة ضمن طبقات الرمل تصنع بمقاطع عرضية مربعة أو دائرية أو مضلعة (مخمس أو مسدس) وتعمل على إزاحة الرمل المحيط بها إلى الأسفل والجوانب مسببة تغير في مواصفاتها والحالة الإجهادية ضمنها. تقسم المراجع قدرة التحمل القصوى للأوتاد إلى مركبتين مركبة احتكاك تتكون على السطح الجانبي للوتد ومركبة ارتكاز تكون الشكل (1) (Das, 2011) عند رأس الوتد ويعبر عنها بالعلاقة:

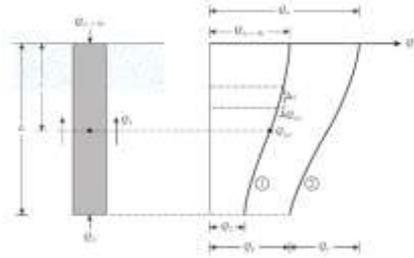
$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

حيث:

Q_u : قدرة التحمل القصوى للوتد.

Q_p : مركبة الارتكاز عند رأس الوتد.

Q_s : مركبة الاحتكاك المتشكلة على سطح الوتد مع الرمل المحيط.



الشكل (1) مركبتا الاحتكاك والارتكاز للوتد.

الصيغة العامة لحساب مركبة الاحتكاك على السطح الجانبي للوتد (Das, 2011):

$$Q_s = \Sigma P \cdot \Delta L \cdot f \quad (2)$$

حيث:

P : محيط مقطع الوتد.

ΔL : مقدار من طول الوتد تكون عليه واحدة الاحتكاك السطحي ثابتة.

f : قيمة الاحتكاك على واحدة السطح للوتد.

المعادلة (2) تظهر أن مركبة الاحتكاك تتناسب طردياً مع مساحة السطح الجانبي للوتد، ومن جهة أخرى تتعلق بالاحتكاك على واحدة السطح.

إن صيغة حساب مركبة الاحتكاك في الرمل تعطى بالعلاقة:

$$f = k \cdot \sigma'_o \cdot \tan(\delta') \quad (3)$$

حيث:

k : معامل ضغط التربة الجانبي.

σ'_o : الاجهاد الشاقولي الفعال عند العمق المدروس.

δ' : زاوية الاحتكاك بين الوتد والرمل.

تتعلق قيمة الاحتكاك على واحدة السطح بعد عوامل ابرزها آلية تنفيذ الوتد، بالإضافة إلى الإزاحة الناتجة عن الوتد، وخشونة سطح الوتد.

مما سبق نلاحظ أن مساحة السطح الجانبي تلعب دوراً هاماً في تغير مركبة الاحتكاك، حيث يمكن الاستفادة من تغيير شكل المقطع العرضي بحيث يزداد المحيط الخاص به وبالتالي ازدياد مركبة الاحتكاك، ولا يقصد بذلك زيادة ابعاد المقطع المربع أو الدائري وإنما اقتراح أشكال أخرى للمقطع العرضي

يهدف البحث إلى إجراء مقارنة تجريبية بين أوتاد بيتونية مسبقة الصنع مدقوقة في الرمل ومعرضة لحمولة ضاغطة شاقولية.

حيث يتم تحري تأثير تغيير شكل المقطع العرضي وما يتبعه من تغير في محيطه ومساحة السطح الجانبي وما يسببه ذلك من تغير في السلوك تحت تأثير الاحمال المطبق. عادة تكون الأوتاد البيتونية مسبقة الصنع بمقاطع دائرية أو مربعة أو مضلعة باختصار (مضلعات محدبة)، في الأونة الاخيرة برز استخدام مقاطع جديدة للأوتاد (مضلعات مقعرة) كالأوتاد بشكل X و Y و بشكل نجمة، للاستفادة من خصائصها الهندسية.

اعتمد البحث المنهج التجريبي من خلال استخدام النمذجة الفيزيائية لبناء تجربة مخبرية تحاكي سلوك الاوتاد المدقوقة في الواقع. كون الاختبارات الحقلية بالمقياس الحقيقي هي عملية مكلفة وتستهلك زماً كبيراً، ويتم اللجوء الى استخدام النماذج المخبرية المبنية باستخدام اسس نظرية التحليل اللابعدي (نظرية باكنغهام) ونظرية التشابه، لتصميم تجارب بمقياس مختلف (مصغر غالباً) تحاكي السلوك الحقيقي للتجربة الأصل.

2. الشروط الحدية للعمل المخبري:

تم توضيح مراحل تصميم التجربة واختبارها للنموذج المربع في بحث سابق (Haidar et al., 2022) وسنستند عليه في تفاصيل ومراحل العمل المخبري.

صبت ثلاثة نماذج من البيتون النموذج المرجعي بمقطع مربع، استخدم كنموذج معايرة لمقارنة سلوك النموذجين الآخرين معه، النموذج الثاني كان بمقطع عرضي Y والثالث بمقطع عرضي بشكل X.

أعيد اختبار التحميل عدة مرات لكل نموذج للتأكد من صحة النتائج (صحة السلوك) النموذج المختبر.

1.2 الصندوق:

اجريت التجربة ضمن صندوق مصنع من الخشب بابعاد ثابتة 1*1 م وارتفاع 1.5 م الشكل (2).

يكون محيطها أعلى من المقطع الدائري أو المربع عند مساحة مقطع متساوية لكليهما ومن هنا تأتي أهمية بحثنا.

قدم (Darwish, 2013) دراسة لمقارنة قدرة التحمل القصوى لأوتاد بمقاطع عرضية دائرية ومربعة ومن ثم قارنها مع قدرة تحمل وتد بمقطع عرضي نجمي علما أن جميع المقاطع المدروسة تملك مساحة مقطع متساوية لكن محيط المقطع الدائري هو الأصغر يليه المربع يليه النجمي وقد كانت المقارنة بين المقاطع باستخدام العلاقات الحسابية المعروفة لمركبة الاحتكاك وتبين بالنتيجة أن المقطع النجمي يمتلك أعلى قيمة بين المقاطع يليه المربع فالدائري وعزى الباحث ذلك إلى التزايد في مساحة السطح الجنبي.

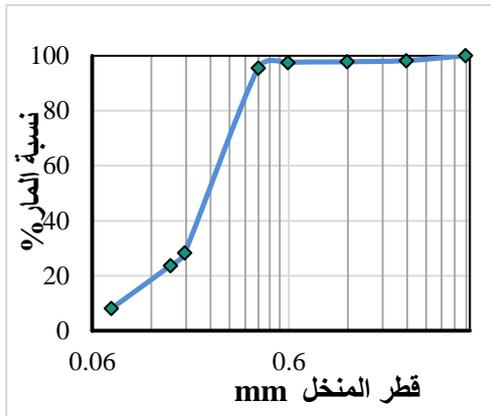
وأجرى (Yaru Lv; Ng, 2016) دراسة مقارنة لنموذجي وتدين تم اختبارهما في جهاز الطرد المركزي الاول بمقطع دائري والثاني بمقطع Y كلاهما معرض لحمولة شاقولية وحمولة سحب، ومن ثم تم اجراء تحليل راجع باستخدام نماذج رقمية تحاكي التجربة المنفذة، كلا النموذجين له مساحة مقطع عرضي متساوية لكن المقطع Y يملك محيطاً أكبر ب 2.47 مرة من النموذج الدائري، وكانت نتيجة المقارنة أن قدرة التحمل القصوى للنموذج Y أعلى ب 1.73 مرة منها للنموذج الدائري.

وأوضحت الاختبارات الحقلية المنفذة من قبل (Yaru Lv, 2011) لوتدين دائري وبشكل X عند اختبارهما ستاتيكية على الاحمال الشاقولية، أن قدرة تحمل الوتد X أعلى ب 20% منها للدائري وأن الهبوط فيه أقل.

ولتحري خواص التحمل لوتد X مصبوب بالمكان اجري (Yaru Lv et al, 2012) عدة اختبارات تحميل ستاتيكية على وتد مصبوب بشكل X وآخر دائري بنفس المساحة، وظهرت المنتائج ارتفاعاً في قدرة التحمل للوتد X وارتفاعاً في مستوى الاجهاد بين الوتد والترية، بالإضافة الى انخفاض الهبوط للوتد X مقارنة بالدائري.

كما أعد (Lu et al., 2017) مقارنة بين وتد بشكل X وآخر دائري بالمقياس الحقيقي في الرمل معرضين لأحمال شاقولية دورية، وقد بينت الدراسة أن الوتد بشكل X يمكن أن يحصل تحسن بالاحتكاك الجانبي فيه بالإضافة أن انخفاض الهبوط تحت الحمل الدوري مقارنة بالوتد الدائري.

1.4 م 3 ، ولضمان تجانس الرمل المشكل حول النماذج فقد اختير رمل متجانس باقطار متقاربة.



الشكل (3) منحنى التدرج الحبي للرمل المستخدم في الاختبار. أجريت التجارب الأساسية لتعيين مواصفات الرمل فكان الوزن النوعي:

$$G_s = 2.63$$

يملأ الصندوق بالرمل تدريجياً حيث يتم اسقاط الرمل من ارتفاع ثابت يساوي 1 م في كل مرة تحت تأثير وزنه الذاتي وفي مركز الصندوق ويتم الحفاظ على هذا الارتفاع طيلة عملية التشكيل لتكون الطبقات المضافة منتظمة التوزيع والكثافة حيث وصف (Prof & Ibrahim, 2014) العلاقة بين ارتفاع لسقوط وكثافة الرمل المتشكل.

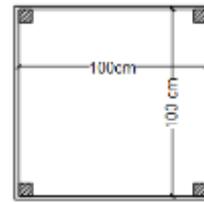
عند بدء تشكيل الاختبار الأول تم وزن الرمل المستخدم في كل خطوة حتى امتلاء الصندوق بارتفاع 1.4 م بالرمل، فكان وزن الرمل المستخدم 2075 كغ ومنه يكون الوزن الحجمي المتشكل يساوي 15.1 kN/m^3 ، في الاختبارات التالية تم استخدام الوزن ذاته في عملية التشكيل.

اجريت تجربة القص المباشر على عينة من الرمل بوزن حجمي 15.1 kN/m^3 فكانت المعاملات:

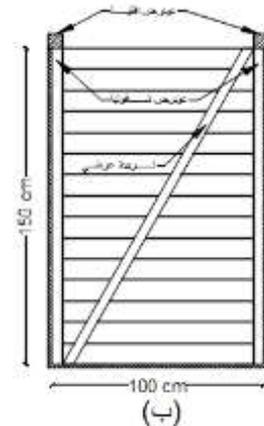
$$C = 0.069, \phi = 31.4^\circ$$

كما أجريت تجربة قص مباشر ملئ فيها القسم السفلي من علبة القص بالبيتون المستخدم فيصنع النماذج وترك سطحه الذي سيلامس الرمل ملاصقا لسطح القالب الخاص بالنماذج ليكتسب خشونة النماذج ذاتها، والهدف ايجاد زاوية الاحتكاك بين الرمل وسطح النماذج فكانت النتائج:

$$C = 0.16, \phi = 26.4^\circ$$



(أ)



(ب)

الشكل (2) (أ) مقطع عرضي لصندوق الاختبار، (ب) مقطع طولي للصندوق.

لإلغاء تأثير جوانب الصندوق على التجربة ، يجب أن تكون خارج منطقة تأثير النموذج لذلك بناء على أبعاد نماذج الأوتاد المصنعة تم اختيار أبعاد الصندوق، حيث يبلغ قطر المنطقه المتأثرة بدق الوتد وعملية التحميل من 3 إلى 8 أضعاف قطر النموذج (Al-Mhaidib, 1999) وعليه فان جدران الصندوق تقع بالكامل خارج منطقة تأثير الوتد.

وقد بين (Al-Mhaidib, 1999) أن تأثير الوتد يمتد إلى مسافة من 0.9 الى مرة من طوله، وبالتالي فان طول الوتد المدفوق ضمن الرمل يساوي 60 سم لجميع النماذج المختبرة، وارتفاع الرمل ضمن الصندوق 1.4 م فان قاعدة الصندوق تقع خارج منطقة تأثير الوتد ولا تؤثر في الاختبار.

الصندوق من الاعلى مجهز بعوارض لتثبيت المعدات اللازمة لدق النموذج حيث يثبت عليها عوارض شاقولية تستخدم لت ومفصل يسمح بتثبيت ذراع التحميل.

2.2 رمل الاختبار:

الرمل المستخدم هو رمل سيليكاتي جاف منتظم (فقير التدرج الحبي) حسب الشكل (3) الذي يظهر منحنى التدرج الحبي للرمل المستخدم في الاختبار.

وقد تم اختيار الرمل الجاف لبناء التجربة لسهولة ملئها الحاوية وتفريغها وتكرار التجربة، خاصة وان حجم الرمل يبلغ



(ب)

الشكل (5) (1) قالب وتسليح النموذج المربع، (ب) قالب وتسليح النموذج Y.

النموذج المربع (Haidar et al., 2022) بأبعاد مقطع 4.5×4.5 سم وبطول 70 سم يتم غرس 60 سم داخل الرمل بطريقة الدق مساحة مقطع المربع تساوي 20.25 سم^2 ويبلغ محيطه 18 سم وباعتماد عمق غرس 60 سم تكون مساحة السطح الجانبي 1080 سم² الشكل (6).



الشكل (6) النموذج المربع.

النموذج Y يتألف من ثلاثة أجنحة الزاوية بينها 120 درجة، يبلغ سمك الجناح 2 سم وطوله 3.1 سم، وبطول 70 سم، مساحة المقطع العرضي 20.3 سم^2 ، محيط المقطع 24.6 سم ، ومساحة السطح الجانبي باعتبار عمق الغرس 60 سم تكون مساحة السطح الجانبي 1476 سم².

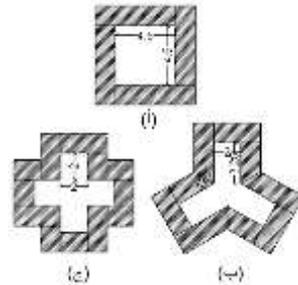
النموذج X يتألف من أربعة أجنحة الزاوية بينها 90 درجة يبلغ عرض الجناح 2 سم وطوله 2 سم وبالتالي تكون مساحة المقطع العرضي 20 سم^2 ، ومحيطه 24 سم، ولنفس عمق الغرس للنموذجين السابقين تكون مساحة السطح الجانبي 1440 سم^2 .

بملاحظة الخواص الحسابية للنماذج الثلاثة نلاحظ أن مساحة المقطع العرضي متساوية لها جميعها بفوارق لا تتعدى 1.5%، وبملاحظة سماكة الجناح للنموذجين Y & X فقد اختيرت سماكة ثابتة لكي تكون ازاحة التربة على جانبي الجناح متساوية في النموذجين، وقد أدى ذلك الى اختلاف في طول الجناح فيهما وذلك بغية تحقيق مساحة متساوية لجميع النماذج،

3.2 نماذج الأوتاد المخبرية:

النماذج المستخدمة في البحث هي نموذج بمقطع مربع وآخر بشكل مقطع Y والثالث بشكل X، تم اختيار ابعاد النماذج بما يتوافق مع الدراسات المرجعية حيث اوضح (Vesic, 1977) أن اصغر بعد لنموذج وتد حتى تكون نتائج الاختبار مقبولة هو 30 مم، بالإضافة الى مراعاة حجم التجربة النهائي وامكانية تنفيذها في المخبر.

صنعت النماذج من خلطة اسمنتية مؤلفة من رمل ناعم واسمنت وبودرة، وقد صبت الخلطة ضمن قوالب خشبية مصنعة بشكل دقيق بحيث تكون ابعادها الداخلية مطابقة للأبعاد المختارة حسابيا الشكل (4).

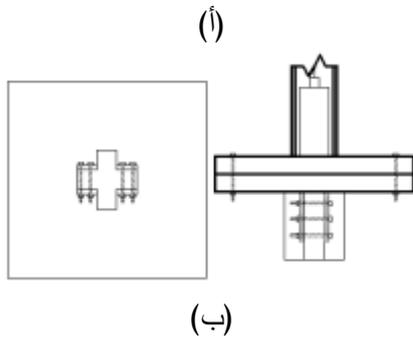


الشكل (4) (أ) قالب النموذج المربع، (ب) قالب النموذج Y، (ج) قالب النموذج X.

ايضا تم اضافة قضبان تسليح طولية بقطر 1 مم ضمن القوالب بمعدل قضيب في كل زاوية للنموذج المربع وقضيب في نهاية كل جناح اذافة الى قضيب في مركز النموذج للشكال Y & X، بالإضافة الى التسليح الطولي تم اضافة تريط عرضي بمسافات متساوية على طول كل النماذج لتثبيت القضبان الطولية في اماكنها عند الصب ولاكساب النموذج مقاومة للاجهادات العرضية ومنع حدوث التشققات التي يمكن ان تطبق اثناء عملية الدق والاختبار الشكل (5).



(أ)



الشكل (7) تثبيت معدات الدق مع رأس النموذج (أ) النموذج Y، (ب) النموذج X.

2.4.2 مكونات آلية التحميل:

بعد الانتهاء من عملية الدق يتم ازالة الاطار والمطرقة عن رأس الوند وتركب قبعة التحميل وهي عبارة عن صفيحة بأبعاد 20x20 سم توثق فوق رأس النموذج وتركب عليها المقاييس الالكترونية.

جهاز التحميل عبارة عن انبويين معدنيين بقطر 7 سم ملحومين بشكل T الاول محور للدوران يركب ضمن حلقات مثبتة على العوارض اعلى الصندوق تسمح بالدوران الحر دون احتكاك والثاني ذراع مجهز بحامل توضع عليه الوزان خلال التجربة ومجهز بمفصل وحامل لنقل الحمول بشكل شاقولي ومركزي مضخمة الى رأس النموذج حيث تبلغ المسافة بين الحامل ومحور الدوان 96 سم وبين نقطة تطبيق الحمل ومحور الدوران 19 سم مما يعطي معامل تضخيم للقوة بمقدار 5.05 مرة الشكل (8).



الشكل (8) آلية التحميل.

يركب جهاز التحميل بحيث تكون نقطة تطبيق الحمل متمركزة فوق رأس النموذج تماما ليكون انتقال الحمل صحيحاً من الذراع الى النموذج الشكل (9).

بملاحظة المحيط الناتج للمقاطع الثلاثة من الابعاد السابقة نجد أن محيطي المقطعين X & Y متقاربان بفارق لا يتعدى 2.5% بينما لكن بزيادة عن محيط النموذج المربع تساوي 33%.
ايضا بملاحظة قيم مساحة السطح الجانبي للنموذجين X & Y نجدها متقاربة بفارق 2.5% زيادة للنموذج Y ، لكن بالمقارنة مع النموذج المربع نجد أن الزيادة تبلغ 33% وهذا مبرر بنتيجة الاختلافات في محيط المقاطع.

ان عملية اختيار الابعاد السابقة كانت تهدف بشكل اساسي الى المقارنة في السلوك بين ثلاثة نماذج بمقاطع مختلفة ولكن بمساحة مقطع متساوية، وعمق غرس ثابت، بالإضافة إلى مراعاة تثبيت جميع البرامترات الاخرى بين النموذجين X & Y بهدف مقارنة سلوكهما معا دون تغيير أي بارامتر اضافي ماعدا شكل المقطع العرضي.

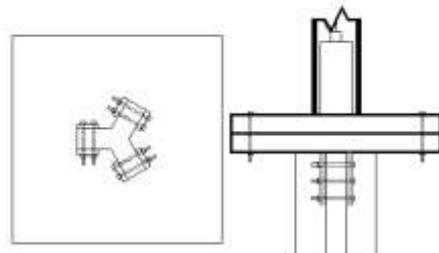
4.2 معدات الاختبار:

1.4.2 مكونات آلية الدق:

لمحاكاة عملية دق الوند في الرمل، تم تجهيز آلية تحاكي عمل المطرقة الساقطة (Drop hammer) وهي احدى انواع المطارق المستخدمة في تنفيذ الاوتاد المدقوقة.

حيث تتالف الآلية من اطار يركب فوق الصندوق ويستند الى العوارض المركبة أعلاه بشكل مثلث يحمل حلقات لامرار حبل مهملة الكتلة يستخدم لرفع الوزن الموجود في جهاز الطرق، الذي يتالف من انبوب بلاستيكي مثبت بشكل عمودي ومركزي على صفيحة مربعة بأبعاد 20x20 سم يحتوي الانبوب على اسطوانة معدنية بوزن 1.5 كغ تتحرك بحرية ضمن الانبوب وترتفع بمقدار ثابت ومحدد 40 سم بواسطة الحبل وتسقط سقوط حر لتنتقل طاقة الطرق عبر الصفيحة الى رأس النموذج.

تثبت الصفيحة مع رأس النموذج بشكل موثوق دون اي انفصال طيلة عملية الدق الشكل (7).



3. العمل المخبري:

تتألف التجربة (Haidar et al., 2022) من عدة خطوات يتم تكرارها بالترتيب عند اختبار كل نموذج. تبدأ التجربة بتشكيل الرمل ضمن الصندوق بالكثافة المحددة 15.1 kN/m^3 عن طريق تفريغ الرمل على دفعات من ارتفاع 1م في كل مرة وتركه يتشكل تحت تأثير الوزن الذاتي.

بعد امتلاء الصندوق حتى ارتفاع 1.4 م يتم تركيب معدات الدق ويوضع النموذج على سطح الرمل ومن ثم تبدأ عملية الدق باستخدام المطرقة حتى وصول النموذج الى عمق 60 سم ون تسجيل الغرس الحاصل بنتيجة الدق جزئياً حتى الوصول للعمق المطلوب وترسم العلاقة بين عدد الطرقات وعمق الغرس لكل نموذج وفي كل تجربة .

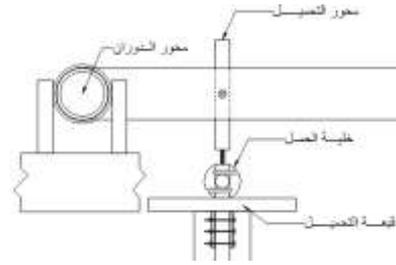
يلي ذلك تركيب معدات عملية التحميل بحيث يكون محور التحمل متمركزاً فوق رأس النموذج.

تركب خلية الحمل تحت محور التحميل فوق القبة وفوق رأس النموذج مباشرة بحيث تقيس الحمل الفعلي المنقول من الذراع الى النموذج، وتركب مقاييس الانتقال بشكل قطري على طرفي القبة بحيث يكون هبوط النموذج هو وسطي الهبوط المقاس من كل منهما لتخفيض اية ارتياب يحدث أثناء التجربة، يتم الحفاظ على المقاييس شاقولية تماماً منذ بدء التجربة لنهايتها لتلافي اي خلل في القياس الشكل (11).



الشكل (11) تركيب الحساسات على قبة التحميل.

تبدأ عملية التحميل بعد ضبط المعدات بشكل نهائي وبدء تسجيل القياسات، ويتم مراعاة اشتراطات (ASTM D) حيث يتم اضافة حمولة على الذراع ومراقبة الهبوط الحاصل في النموذج حتى يتوقف الهبوط أو تصبح قيمته منخفضة مع الزمن (0.25in/h) وبما لا يتجاوز الساعتين، ليتم بعدها اضافة حمل اخر ومراقبة الهبوط وهكذا حتى وصول النموذج للانتهار، حيث يصبح الهبوط كبيراً جداً مع زيادة الحمل، زيادة الحمل تكون بخطوات متساوية من الاوزان حتى حدوث الانتهار.

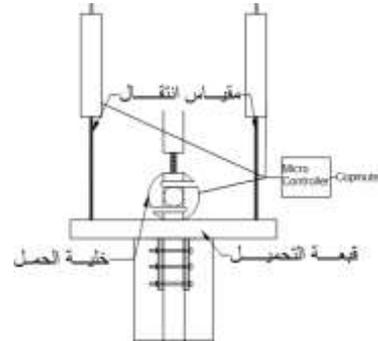


الشكل (9) تثبيت محور التحميل فوق رأس النموذج.

3.4.2 مكونات دائرة القياس:

تؤخذ القياسات طيلة فترة تجربة التحميل حيث يسجل الهبوط والحمولة والزمن كل دقيقة لتعقب سلوك التجربة بشكل دقيق. تم بناء دائرة إلكترونية تتألف من خلية حمل (Load Cell) باستطاعة 1 طن مع دائرة التضخيم الخاصة بها، وحساسات انتقال (Position Transducer) بطول شوط 10 سم ودقة 0.1 مم يتوضعان بشكل قطري على قبة التحميل.

ترتبط حساسات الانتقال وخلية الحمل مع دائرة التضخيم الخاصة بها الى دائرة تحكم قابلة للبرمجة ومن ثم ترتبط المتحكم الى الحاسب الشكل (10).



الشكل (10) الحساسات ودائرة القياس.

تمت برمجة المتحكم بحيث تقوم بتسجيل وتخزين قياسات الحمولة والهبوط في الزمن الحقيقي كل دقيقة وحفظها الى جهاز الحاسب لتتم معالجتها تالياً.

تمت معايرة خلية الحمل عن طريق تحميلها بأوزان مخبرية وتسجيل القراءات باستخدام دائرة لاقياس والبرمجية ذاتها المستخدمة في التجربة وكان الفارق بين قراءة الخلية والوزن المطبق لا يتعدى 1%.

تمت معايرة مقاييس الانتقال باستخدام حساسات مخبرية وكان فرق القراءات بينها لا يتعدى 1.7%.

النموذج في مركز الصندوق فوق الرمل بحيث يتساوى بعده عن جدران الصندوق لضمان عدم تأثيرها في الشروط المحيطة للتجربة.

تسجل قيمة انغراس الوند في الرمل نتيجة وزنه الذاتي وبعدها يبدأ الدق، لضمان عدم ضياع الطاقة ونجاح التجربة يتم مراقبة شاقولية النموذج والمحافظة عليها أثناء الدق الشكل (12).

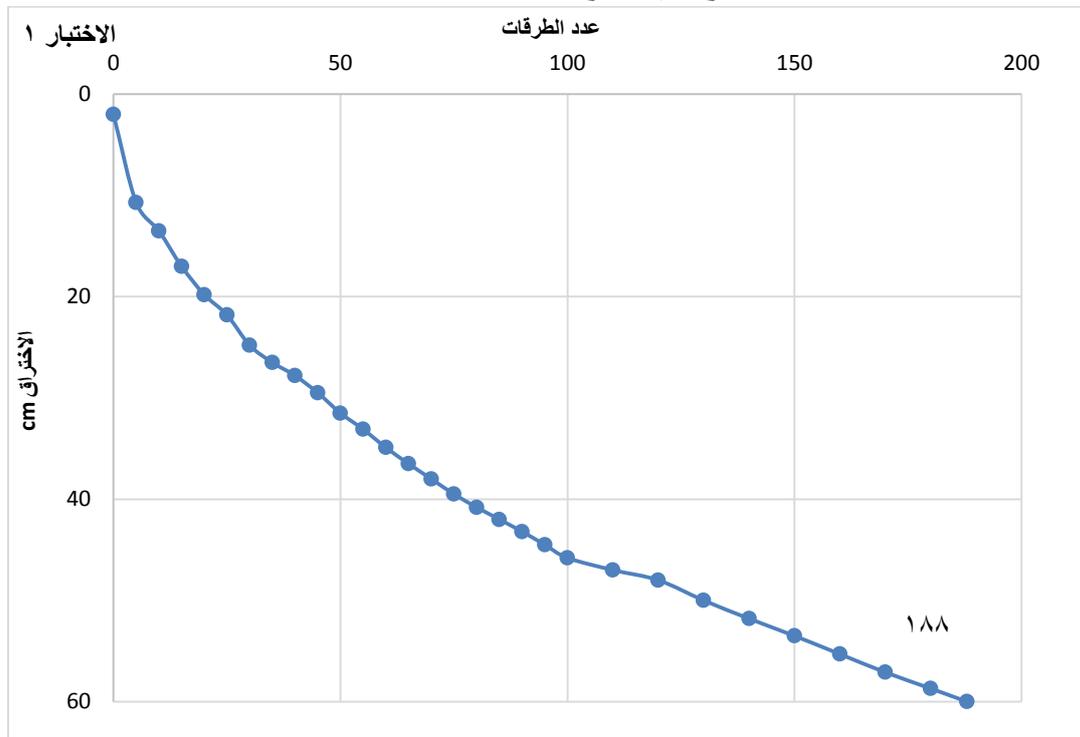
بعد انتهاء التجربة تزال المقاييس وجهاز التحميل والنموذج، ومن ثم يفرغ الصندوق من الرمل، ليعاد تشكيله من جديد بنفس الوزن الحجمي ويجهز من أجل التجربة التالية.

4. الاختبارات:

اجريت الاختبارات جميعها وفق ترتيب الخطوات الموضح سابقاً:

1.4 النموذج المربع:

بعد تشكيل الرمل بالوزن الحجمي المحدد، يركب اطار الدق فوق الصندوق وتثبت المطرقة على رأس النموذج، ثم يوضع



الشكل (12) العلاقة بين عدد الضربات وعمق الاختراق للنموذج المربع في الاختبار الاول (Haidar et al., 2022).

راس النموذج اي تشكل مخروط اختراق عند قمة النموذج يساهم في مقاومة الدق، ويلاحظ ذلك في انخفاض سرعة الاختراق (ميل المنحني) تدريجاً حتى الوصول للعمق المطلوب.

بعد الانتهاء من الدق يركب جهاز التحميل وتضبط المقاييس فوق قبة التحمل وتبدأ عملية القياس دون حمولة لتسجيل الوضع الابتدائي للنموذج.

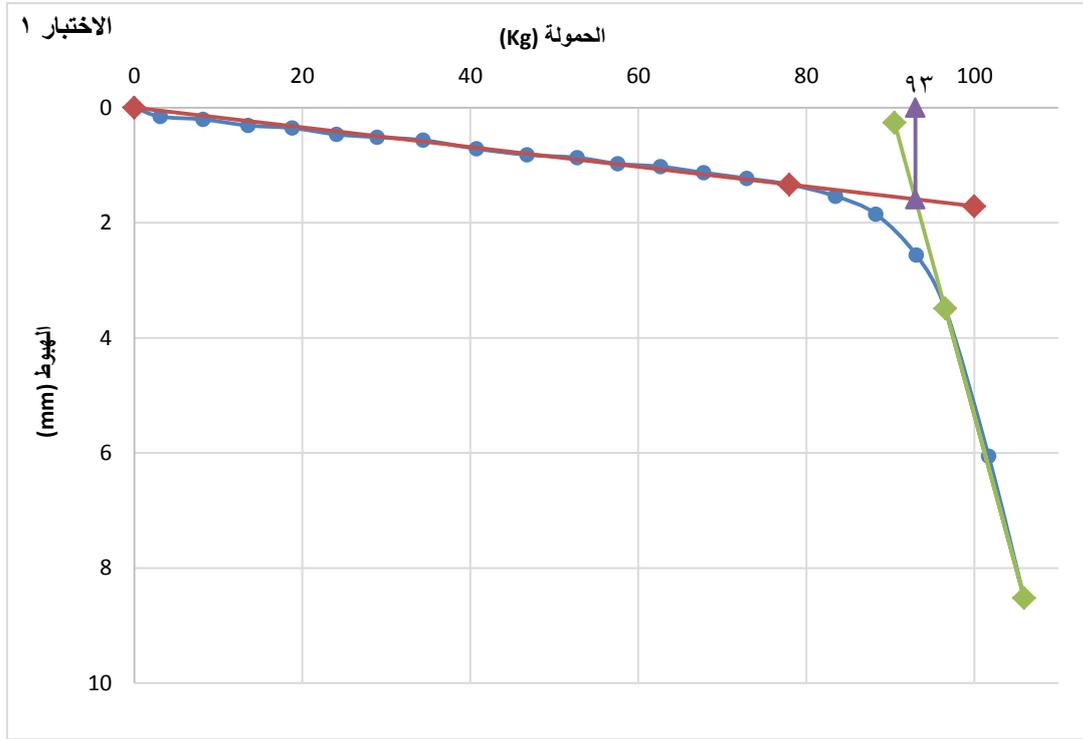
تبدأ عملية التحميل باضافة وزن 1 كغ على حامل الذراع يضخم ليصل الى النموذج مضاعفا 5.1 مرة ويسجل بدقة بواسطة خلية الحمل، يسجل الهبوط المقابل للحمل كل

سلوك النموذج خلال الدق يظهر سرعة في اختراق النموذج للرمل في البداية، يفسر ذلك كون النموذج مازال بمعظمة خارج الرمل وبالتالي قيمة الاحتكاك على السطح الجانبي للنموذج منخفضة، وايضاً بان الرمل قرب السطح يكون بكثافته المشكلة بداية ولم يرتص بشكل كبير لتشكل نواة صلبة تحت النموذج تقاوم الدق ويكون ميل مماس المنحني حادا كما يظهر.

لكن بازدياد اختراق النموذج للرمل أكثر تزداد لمقاومة ويزداد عدد الضربات اللازم لدفعه في الرمل وذلك نتيجة ازدياد الاحتكاك على السطح الجانبي وارتصاص الرمل عند

النموذج في الرمل بشكل كبير بنتيجة زيادة خطوة تحميل ويراقد الهبوط، تكرر العملية حتى الانهيار حيث يهبط

دقيقة حتى ثباته، يضاف بعدها حمل آخر بوزن 1 كغ مقارنة بالهبوطات السابقة الشكل (13).



الشكل (13) منحنى الحمولة - الهبوط للاختبار الاول للنموذج المربع (Haidar et al., 2022).

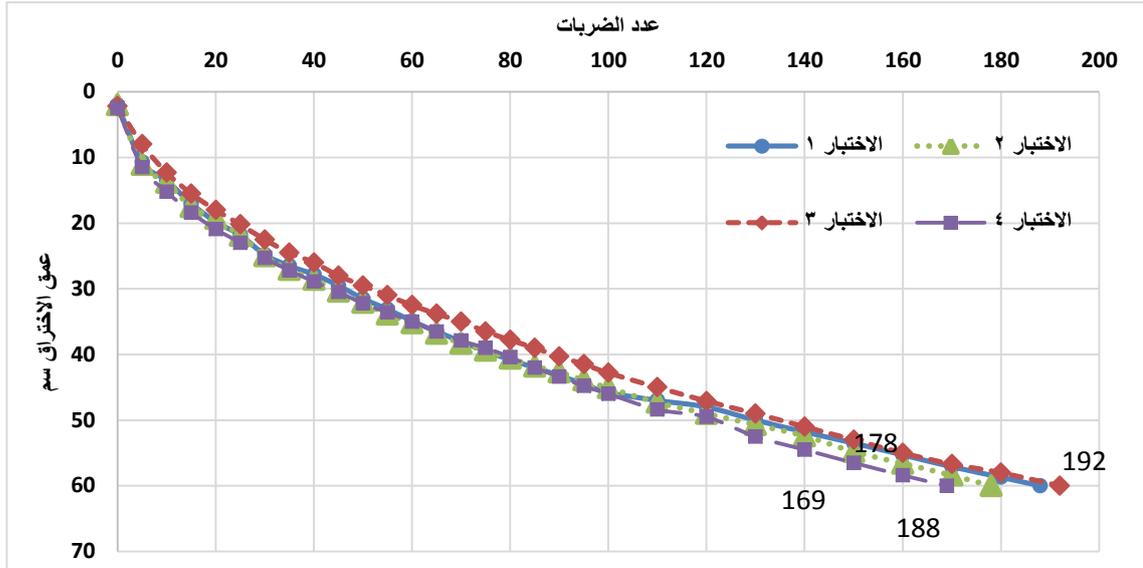
الأول تكون قدرة التحمل القصوى للنموذج المربع 93 كغ.

يكرر الاختبار للنموذج المربع ثلاث مرات اخرى وترسم العلاقة بين عدد الضربات وعمق الانغراس في كل منها ، كما تسجل قراءات الحمولة والهبوط والزمن أثناء التحميل حتى نهاية التجربة، ثم يمثل منحنى الهبوط مع الحمل لكل اختبار .

الشكل (14) يظهر العلاقة بين عدد الضربات والانغراس في الاختبارات المنفذة للنموذج المربع جميعها .

يوضح الشكل السابق نتيجة اختبار التحميل الاول للنموذج المربع، الانتقالات في بداية التجربة تكون صغيرة بنتيجة خطوات التحميل المتتالية ويلاحظ من الشكل (13) أن المرحلة الاولى من الاختبار شبه خطية تتزايد فيها الانتقالات بزيادة الحمولة من الصفر وحتى مرحلة انتقالية تظهر بشكل منحنى، ومع زيادة الحمولات تصبح قيم الهبوط كبيرة جدا مع كل خطوة تحميل ويدخل النموذج في الانهيار.

تستخدم طريقة المماسات لإيجاد قيمة قدرة التحمل القصوى للنموذج وتطبيقها على الاختبار

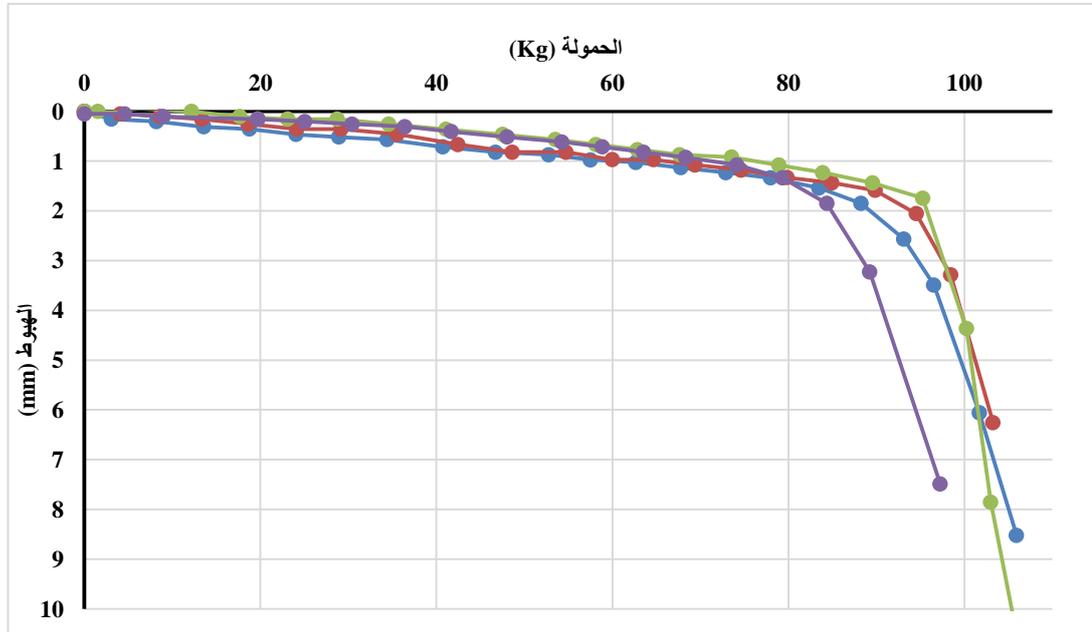


الشكل (14) علاقة عدد الضربات مع عمق الاختراق للنموذج المربع في الاختبارات الأربعة (Haidar et al., 2022).

مقاربة كما يظهر في الشكل حيث تبلغ أعلى قيمة 192 ضربة بينما أدنى قيمة 169 بفارق 14% ويعزى هذا الاختلاف إلى وجود فروقات بسيطة في توزيع كثافة الرمل حول النموذج، فلا يمكن بأي حال من الأحوال ضبط عملية التشكيل بشكل كلي، وأيضا إلى بعض الاضطرابات التي تحدث أثناء عملية الدق كونها تتم بشكل يدوي.

يسلك النموذج المربع سلوكا متقاربا في التجارب المكررة، حيث تظهر المنحنيات مسارا واضحا تكون سرعة الانغراس كبيرة في البداية وهذا ما يظهر من ميل المنحنيات الأربعة، لتبدأ بالانخفاض كلما ازداد العمق المنغرس من النموذج في الرمل.

ان عدد الضربات اللازمة للوصول لعمق 60 سم



الشكل (15) علاقة الحمولة - الهبوط للاختبارات الأربعة للنموذج المربع (Haidar et al., 2022).

2.4 النموذج Y:

تعاد خطوات اعداد التجربة بشكل دقيق على النموذج ذي المقطع العرضي Y بدءاً من الصندوق الفارغ الذي يعاد ملؤه بالرمل كما ذكر سابقاً، ومن ثم تركيب إطار الدق والمطرقة وقبعة الدق وغرس النموذج حتى 60 سم كما في النموذج المربع، ومن ثم اجراء اختبار التحميل حتى الانهيار.

يظهر الشكل (16) نتائج عملية الدق للتجارب الثلاثة على النموذج Y.

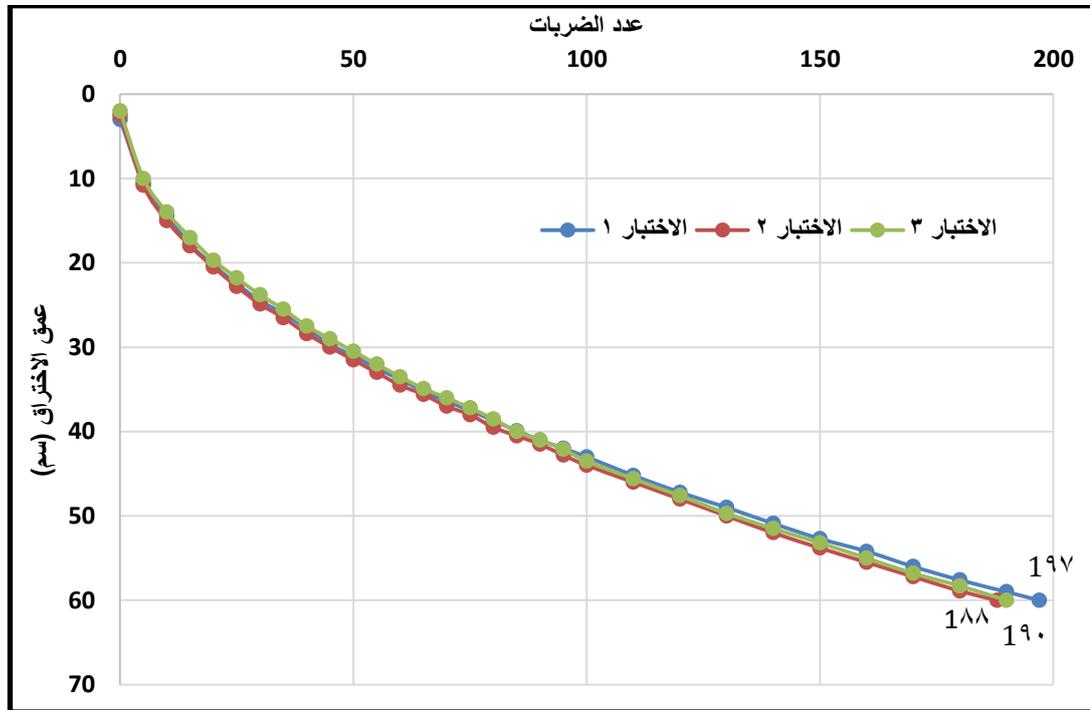
يظهر الشكل (15) نتائج اختبارات التحميل الاربعة على النموذج المربع.

يظهر الجدول (1) قدرة التحمل القصوى لكل اختبار:

الجدول (1) قدرة التحمل القصوى وعدد الضربات النهائي لكل

اختبار للنموذج المربع.

الاختبار:	عدد الضربات النهائي	قدرة التحمل القصوى (كغ)
1	188	93
2	178	97.3
3	192	95.7
4	168	85.4

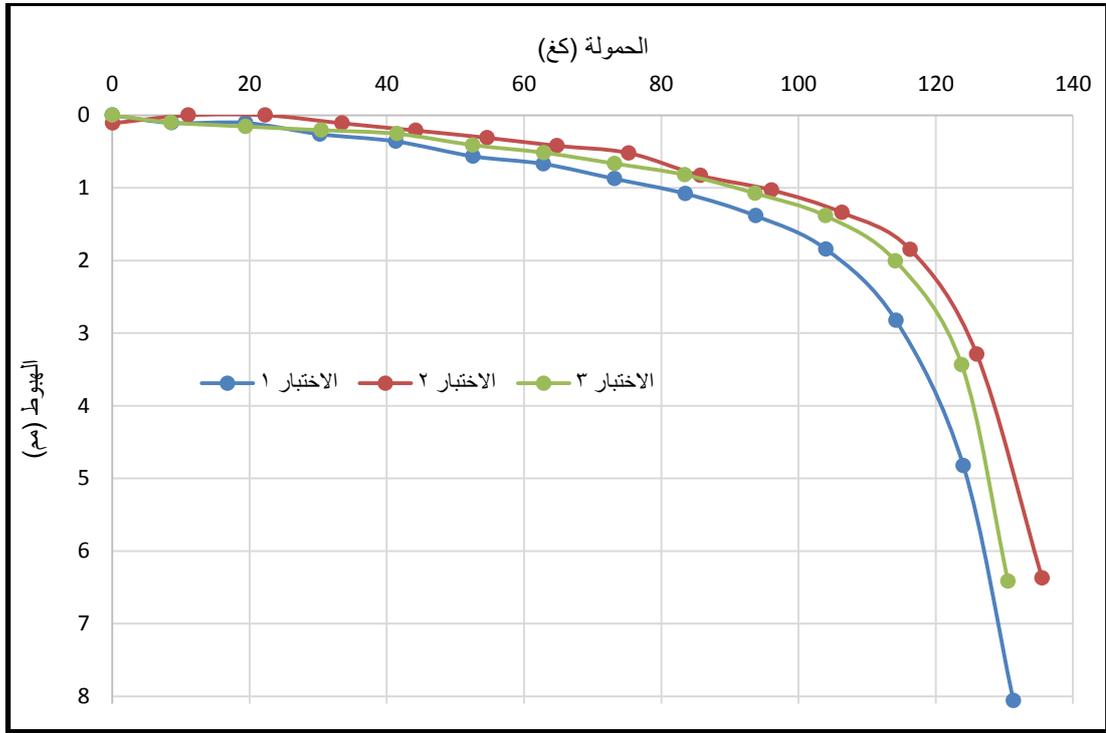


الشكل (16) علاقة عدد الضربات بعمق الاختراق للنموذج Y في الاختبارات الثلاثة.

في بعض الضربات المطبقة في انتشار الطاقة إلى الوسط المحيط وبالتالي اختلاف كثافات وخواص الرمل حول النموذج.

تعاد عملية التحميل بعد وصول النموذج إلى العمق المطلوب بنفس الخطوات التي نفذت للنموذج المربع لكن خطوة التحميل كانت 2 كغ لتضخم بواسطة الذراع إلى 10.2 كغ وتقاس بدقة بواسطة خلية الحمل يظهر الشكل (17) نتائج اختبارات التحميل للنموذج Y:

ان دق النموذج Y يمر بالمراحل نفسها التي لوحظت عن دق النموذج المربع حيث يبدأ الغرس سريعاً ويتباطئ مع ازدياد طول النموذج المغروس ضمن الرمل، لكن يلاحظ في انتظام أكبر في عملية الدق، والقيم النهائية لعدد الضربات متقاربة أكثر مما كانت في النموذج المربع، يمكن تفسير ذلك بأن وجود الأجنحة في النموذج Y يساعد في توزيع الطاقة المارة في الوتد إلى التربة المحيطة بشكل متساوي بعكس النموذج المربع الذي يمكن أن تؤثر بعض اللامركزية



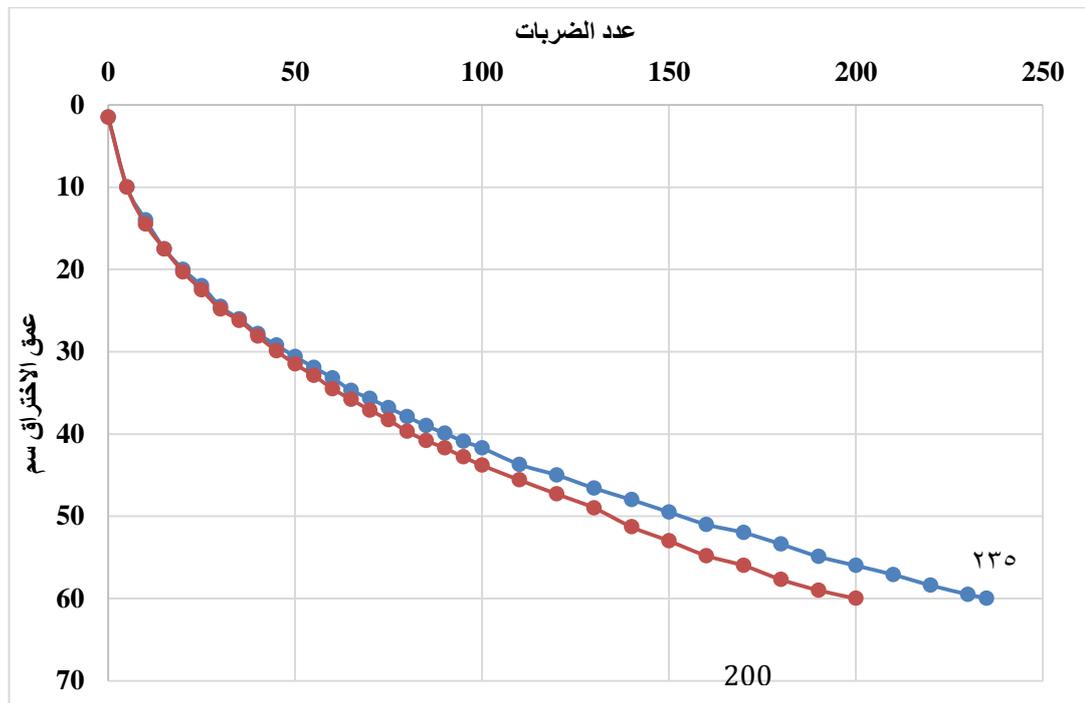
الشكل (17) منحنيات الحمولة - الهبوط للنموذج Y في الاختبارات الثلاثة.

3.4 النموذج X:

تم تكرار الاختبارات على النموذج ذو المقطع العرضي X مرتين، يوضح الشكل (18) نتائج عملية الدق:

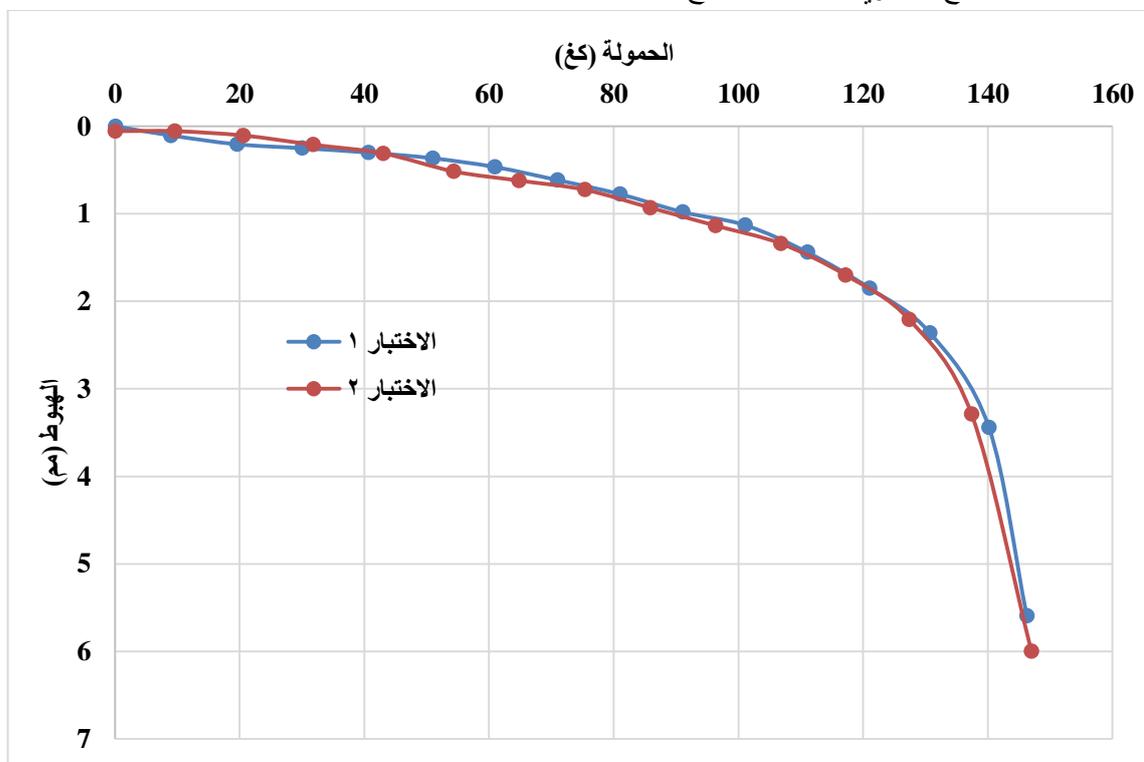
يظهر الجدول. قيم قدرة التحمل القصوى المستخرجة من منحنيات التحميل لكل اختبار: الجدول (2) قدرة التحمل القصوى وعدد الضربات النهائي لكل اختبار للنموذج Y.

الاختبار	عدد الضربات النهائي	قدرة التحمل القصوى (كغ)
1	197	116.7
2	188	119.8
3	190	118.7



الشكل (18) علاقة عدد الضربات بعمق الاختراق للنموذج X في الاختبارين.

كما يبين الشكل نتائج اختباري التحميل للنموذج X:



الشكل (19) منحنيات الحمولة - الهبوط لاختباري النموذج X.

وكانت قدرة التحمل الحدية لكل من الاختبارين على التوالي 135 كغ و 131 كغ بفارق 3%.

5. مناقشة:

تم اختيار مساحة المقطع العرضي للنماذج الثلاثة تساوي 20 سم بفوارق لا تتعدى 1.5% لكي تكون مساحة ارتكاز النماذج جميعها على الرمل اسفل رأس النموذج واحدة، وذلك بافتراض أن تكون مركبة الارتكاز للنماذج جميعها متساوية، أما مساحة السطح الجانبي فكانت للنموذج المربع تساوي 1080 سم² وللنموذج Y 1476 سم²، وللنموذج X 1440 سم² بفارق بين النموذجين 2.5% وزيادة عن النموذج المربع 33.3%.

تظهر نتائج الدق للنماذج الثلاثة سلوكاً واحداً، حيث يبدأ الانغراس سريعاً في البداية نتيجة لعدم وجود احتكاك مع الرمل فمعظم سطح النموذج لم ينغرس بعد، ولأن الرمل تحت رأس النموذج مازال قريباً من كثافته الطبيعية ولم تتشكل نواة مرتصة بشكل كافي لتقاوم اختراق النموذج.

بمقارنة قيم عدد الضربات النهائي للاختبارات للنموذج المربع كان الفارق بين أقصى قيمة وادنى قيمة 14% ومتوسط عدد الضربات النهائي للاختبارات الاربعة 182 ضربة، بينما كان الفارق بين عدد الضربات النهائي للنموذج Y في الاختبارات الثلاثة 5% ومتوسط عدد الضربات النهائي 192 ضربة، وفي النموذج X كان الفرق 17.5% ومتوسط عدد الضربات 218 ضربة ان الفارق الملحوظ في اختبارات النموذج يمكن تاييده بزيادة عدد الاختبارات للحصول على نتائج أوضح.

ان الطاقة اللازمة لايصال النموذج الى عمق غرس 60 سم تزايدت بازدياد مساحة السطح الجانبي فكان الفارق بين النموذج المربع والنموذج Y 5.5% والفارق بين المربع و النموذج X 19.7% وهي نتيجة حتمية كون مساحة السطح

الجانبي ازدادت وبالتالي ازدادت مقاومة الانغراس، كما يلاحظ ظهور فرق في عدد الضربات النهائي بين النموذج Y والنموذج X يساوي 13.5%، يمكن افتراض ان هذه الفروقات هي نتيجة لاختلاف عدد الاجنحة والزاوية بين اجنحة النموذجين، حيث تعمل الاجنحة على نشر الطاقة الواصلة الى النموذج من المطرقة الى الرمل المحيط بالنموذج والتربة أسفله وبالتالي تزيد من ارتصاصها، وتقاربها مع سطح النموذج وبالتالي تزداد ممانعة الانغراس وبالرغم من أن اجنحة النموذج Y أطول منها للنموذج X الا ان الزاوية بينها تبلغ 120 درجة بينما للنموذج المربع تكون 90 درجة وبالتالي وعدد اجنحة ال X 4 وبالتالي فانها تؤثر في حجم أكبر من الرمل حول وأسفل النموذج مما يكون في حالة النموذج Y.

وبمقارنة قيم قدرة التحمل القصوى لنتائج اختبارات التحميل للنموذج المربع كان الفرق بين أعلى قيمة وأدنى قيمة يقارب 13.9% والقيمة الوسطية للنتائج 92.85 كغ، وللنموذج Y كان الفرق بين القيمتين العليا والدنيا 2.5% اما وسطي النتائج كان 118.4 كغ، وبالنسبة لنتائج النموذج X كان الفارق 3.1% ومتوسط حمولة الانهيار 133 كغ.

بمقارنة متوسط الحمولة القصوى للمربع مع النموذج Y مع نجد زيادة بمقدار 27.5%، وبين المربع والنموذج X نجد زيادة 43.2%.

ونجد أن الحمولة القصوى للنموذج X تزيد عن حمولة النموذج Y بمقدار 12.3%.

يمكن تفسير الزيادة في قدرة التحمل للنموذجين المعدلين الى الزيادة في مساحة السطح الجانبي وبالتالي ازدياد مساحة تفاعل الرمل مع سطح النموذج مما يعطي مقاومة اعلى بالاضافة تأثر مساحة اكبر من الرمل أسفل رأس النموذج بنتيجة امتداد الاجنحة وانتقال طاقة الدق منها الى

حجم أكبر من الرمل أسفل رأس النموذج وهذا ما يؤكد الفرق في قدرة التحمل بين النموذجين X و Y.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- ان الطاقة المقدمة للنماذج لا يصلها للعمق المطلوب تزداد بازدياد مساحة السطح الجانبي.
 - 2- تتأثر الطاقة اللازمة لغرس النموذج بعدد الاجنحة والزاوية فيما بينها وذلك نتيجة انتقال الطاقة (الاهتزازت) من الجناح الى الرمل المحيط وبالتالي فان زيادة عدد الاجنحة ونقصان الزاوية فيما بينها يسبب دائرة تأثير أكبر وبالتالي تكاثف والتصاق اكبر بين الرمل والنموذج.
 - 3- زيادة مساحة السطح الجانبي في النموذجين X و Y اعطى قدرة تحمل أكبر منها بالنسبة للنموذج المربع، وأيضاً كانت قدرة التحمل لل X أعلى منها لل Y وذلك لأن عدد الجنحة اعلى والزاوية بينها أقل في النموذج X.
- وبوصى أيضاً باجراء اختبارات على نماذج مجهزة بمقاييس الكترونية لقياس مركبتي قدرة التحمل وبالتالي تحديد أثر تغيير شكل المقطع العرضي على كل منهما.
- هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1. Al-Mhaidib, A. I. (1999). Bearing capacity of a model pile in sand under different loading rates. *Proceedings of the 1999 Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference (Volume 1), Brest, France, 30 May - 4 June 1999, I*, 724–730.
2. Darwish, A. M. (2013). Increasing the Carrying Capacity of Reinforced Concrete Driven Piles by Changing their Cross Sectional Geometry. In *European Scientific Journal* (Vol. 3, Issue December, pp. 342–346).
3. Das, B. (2011). *principles of foundation engineering* (7th ed.).
4. Haidar, S., Mlhem, M., & Najem, A. (2022). Preparing Laboratory Model for A Pre-Fabricated Friction Pile Driven in Sand in Normal Gravity (1g). *Damascus University Journal for the Engineering Sciences*.
5. Lu, Y., Liu, H., Zheng, C., & Ding, X. (2017). Experimental Study on the Behavior of X-Section Pile Subjected to Cyclic Axial Load in Sand. In *Shock and Vibration* (Vol. 2017). <https://doi.org/10.1155/2017/2431813>
6. Prof, A., & Ibrahim, S. F. (2014). *Evaluation Of Bearing Capacity For Model Piles Driven In Sandy Soil Assist. 18*(3).
7. Vesic, A. S. (1977). Design of pile foundations: National Cooperative Highway Research Program, Synthesis Highway Practice Report No. 42,. In *Proceedings of the 1999 Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference (Volume 1), Brest, France, 30 May - 4 June 1999: Vol. I*.
8. Yaru Lv; Ng, C. W. W. . S. Y. L. H. L. X. D. (2016). ◦A ◦Comparative study of Y-shaped and circular floating piles in consolidating clay. *Canadian Geotechnical Journal* . Sep2016, Vol. 53 Issue 9, P1483-1494. 12p. 4 Diagrams, 3 Charts, 7 Graphs, 53(9), 1483–1494. <https://doi.org/abs/10.1139/cgj-2015-0634>
9. Yaru Lv1; Hanlong Liu2; Xuanming Ding3; and Gangqiang Kong, F. (2012). Field Tests on Bearing Characteristics of X-Section Pile Composite Foundation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 26(2), 180–189.
10. Yaru Lv1, X. D. and H. L. (2011). *In Situ Tests on Cast-in-Place Concrete X-Section Pile for Bearing Capacity of Single-Pile Composite Foundation*. [https://doi.org/10.1061/47633\)410\(5](https://doi.org/10.1061/47633)410(5)