

## تحضير نموذج مخبري لوتد احتكاك بيتوني مسبق الصنع مدقوق في الرمل في شروط الجاذبية الطبيعية (g1).

م. سلمان حيدر<sup>1</sup>.

د. م. مياسة ملحم<sup>2</sup>.

أ.د.م. عبد المنير نجم<sup>3</sup>.

### الملخص

إن فهم آلية عمل أوتاد الاحتكاك ضمن التربة وتأثيرها على معادلة قدرة التحمل، كي تتمكن من تطوير هذه المعادلة، يتطلب إجراء العديد من التجارب الحقلية بالمقياس الحقيقي للوتد لأنها توضح السلوك الحقيقي وتعطي وثوقية للبارامترات المستخدمة ضمن المعادلة. إن اللجوء للتجارب الحقلية مكلف اقتصادياً وليس بالسهل تقنياً، لذلك يحاول الباحثون عند الخوض بفرضيات متعلقة ببارامترات الوتد نقل المقياس الحقيقي من الحقل إلى المقياس المخبري إلى المخبر وفق نماذج فيزيائية مصغرة لاستقراء صحيح للسلوك العام للنموذج، يليه تجارب بالمقياس الحقيقي، تتم النمذجة الفيزيائية بالاعتماد على نظريتي التشابه الهندسي والتحليل اللابعدي، وتتم بطرق مختلفة سواء بالشروط الطبيعية أو في جهاز الطرد المركزي.

يهدف هذا البحث إلى تصميم تجربة مخبرية مستندة إلى القواعد الرياضية للنظريتين السابقتين وبالاعتماد على الدراسات السابقة من خلال إجراء اختبار تحميل استاتيكي لنموذج وتد مربع وتحري سلوكه أثناء التجربة، حيث تم توضيح التجهيزات المستخدمة وآلية اختيار أبعادها وطريقة عملها وفقاً للدراسات المرجعية والمتطلبات التي يجب تلبيتها مخبرياً، أجريت أربع اختبارات تحميل ستاتيكي لنموذج وتد مربع المقطع العرضي مدقوق في رمل منتظم التدرج الحبي، وتم تسجيل الأحمال والانتقالات مع الزمن إلكترونياً، وتبين أن سلوك النموذج المستخدم مشابه لسلوك الوتد بالمقياس الحقيقي، كما تبين أنه للحصول على نتائج متقاربة عند تكرار الاختبار فمن الضروري جداً الالتزام بتكرار نفس الخطوات بدقة عالية، والنتيجة المتقاربة للاختبارات الأربعة تبين أن سلوك النموذج وفق التجربة المقترحة واحد وبالتالي يمكن اعتمادها لاستقراء أثر تغيير بارامترات مختلفة في الوتد ومقارنة النتائج مع نتائج النموذج الأساسي في هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: نمذجة فيزيائية، وتد احتكاك، نموذج مخبري، وتد في الرمل، (g1).

<sup>1</sup>طالب دكتوراة في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق  
<sup>2</sup>مدرسة في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية لهندسة المدنية - جامعة دمشق.  
<sup>3</sup>أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

## **Preparing Laboratory Model for A Pre-Fabricated Friction Pile Driven in Sand in Normal Gravity (1g).**

**Eng. Salman Haidar<sup>4</sup>.**  
**Dr, Maiasa Mlhem<sup>5</sup>.**  
**Prof. Abdulmunir Najem<sup>6</sup>.**

### **Abstract:**

Understanding the mechanism of friction pile within the soil and its effects on the bearing capacity equation, in order to develop this equation, it requires implementing many field experiments with the real scale of the pile because it shows the real behavior and gives reliability to the parameters used within the equation. However, applying field experiments is costly and is not easy technique. Therefore, when researchers work with hypotheses related to pile's parameters, they try to transfer the real scale from the field to the laboratory scale depending on physical modelling. So, this leads us to a correct extrapolation of the general behavior of the model. Then, experiments with the real scale will be done. Physical modeling is done based on the theories of geometric similarity and non-dimensional analysis, and is done in different ways, whether under natural conditions or in a centrifuge.

This research aims to design a laboratory experiment based on the mathematical rules of the two previous theories and based on previous studies by conducting a static loading test for a square pile and investigate its behavior during the experiment.

The equipment that is used, the mechanism for selecting its dimensions and the method of operation were clarified depending on previous researches and studies for laboratory scale. So, four static load tests were carried out for a square-section pile model, bored in uniform grade sand, and the loads and transitions with time were recorded electronically. By repeating the same steps with high accuracy, and the results of the four tests show that the behavior of the model according to the proposed experiment resemble the real one, and therefore it can be adopted to extrapolate the effect of changing different parameters on the pile and compare the results with the results of the basic model in this research.

**Keywords: Physical modelling, Friction Pile, Pile in Sand, laboratory model.**

---

<sup>4</sup> PhD student Geotechnical Engineering Department –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

<sup>5</sup> Assistant professor - Geotechnical Engineering Department –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

<sup>6</sup> Professor - Geotechnical Engineering Department –Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

## 1. المقدمة:

لذلك وعند إجراء اختبارات بهدف تحري وتفسير سلوك وتد بشكل عام في ترب معينة وشروط معينة، أو عند إجراء دراسة بارامترية لوتد، يتم اللجوء إلى النمذجة الفيزيائية أولاً وبعد الوصول إلى النتيجة المطلوبة يتم إجراء اختبارات حقلية لتعميم وتأكيـد النتيجة.

قام (Ibrahim et al, 2014, 4) باستخدام نموذج وتد مصنع من عدة مواد وعدة قياسات مدقوق في حاوية بلاستيكية بأبعاد (60x60x100 cm). لدراسة تأثير نوع الوتد وكثافة الرمل على قدرة تحمل الوتد في الترب الرملية تحت نوعين من الأحمال الضغط والرفع.

كما استخدم (Leong et al, 2015, 2) خمسة نماذج لأوتاد بمقطع دائري مفرغ مدقوقة في حاوية بأبعاد (50x100x60 cm) دراسة تأثير عمق الاختراق وطاقة الاختراق على قدرة تحمل الوتد.

وقام (Sadrekarimi et al, 2009, 4) بدراسة العلاقة بين خشونة السطح الجانبي لنموذج وتد مع قدرة تحمله، واستخدم حاوية مثمثة الشكل بقطر (100 cm) وارتفاع (100 cm) يمر من قاعدتها نموذج الوتد عبارة عن انبوب معدني مغلف بورق زجاج بخشونات مختلفة.

## 2. النمذجة الفيزيائية في مجال الأوتاد:

تهدف النمذجة الفيزيائية إلى دراسة جوانب محددة في سلوك المسألة الأساسية، وأغلب النماذج الفيزيائية تكون أصغر بكثير من المسألة الأساسية كونها تهدف إلى الحصول على معلومات حول أنماط محددة السلوك بسرعة كبيرة وبإمكانية أكبر للتحكم في تفاصيل النموذج الأمر الصعب تحقيقه في التجارب بالمقياس الحقيقي (Wood, 2004, 233).

يعتمد نجاح النمذجة في محاكاة المسألة الأساسية على مراعاة شروط التشابه بين النموذج والأصل من عدة نواحي هي التشابه الهندسي والتشابه الحركي والتشابه التحريكي.

تستخدم الأساسات الوتدية بشكل عام لعدة أغراض أولاً، عندما تكون تربة التأسيس التي تقع مباشرة تحت المنشأ ضعيفة وغير قادرة على تلقي الحمولات المنقولة إليها، فيتم تنفيذ أساسات وتدية لنقل أحمال المنشأ العلوي إلى القاعدة الصخرية إذا كانت ذات عمق غير كبير، أو إلى طبقات التربة ذات قدرة التحمل الأعلى، ثانياً، لتخفيف الهبوط الحاصل في المنشأ إلى الحدود المسموحة في حال لم تؤدي الأساسات السطحية بالغرض، ثالثاً، لمقاومة قوى الانقلاب في بعض المنشآت الخاصة المعرضة لقوى أفقية كالرياح أو الأمواج... إلخ.

لكن عندما تكون القاعدة الصخرية أو طبقات التربة القاسية على أعماق كبيرة، حيث يكون من غير الاقتصادي أو غير الممكن تقنياً إيصال الأوتاد إلى هذه الأعماق، يتم اللجوء لاستخدام الأوتاد العائمة أو أوتاد الاحتكاك والتي تعتمد بشكل أساسي على الاحتكاك المتشكل على سطحها الجانبي وعلى الارتكاز على التربة عند رأس الوتد، في نقل الأحمال من المنشأ العلوي إلى التربة المحيطة والتربة أسفل الوتد.

حاول العديد من الباحثين وضع علاقات حسابية مبنية على التجارب الحقلية لوصف سلوك الأوتاد والتنبؤ بقدرة التحمل حسب مواصفات الوتد وشروط تربة الموقع (Veisc, Meyerhof) بالإضافة إلى بعض المؤسسات الهندسية مثل (API, NAVFAC, FAHWA) وذلك بناء على قاعدة بيانات كبيرة لتجارب حقلية منفذة في مواقع مختلفة، لكن تبقى تجارب التحميل في الموقع الحاكم الأساسي في تعيين قدرة التحمل الحدية والأمانة للوتد في المشروع المدروس، يعتبر اختبار التحميل الستاتيكي الأكثر انتشاراً واستعمالاً في تحديد قدرة تحمل الأوتاد، لكنه اختبار مكلف ويستهلك جهداً وزمناً طويلاً للإنجاز.

المعتمدة للتجربة وإجراء الاختبارات المتكررة لاستقصاء أثر البارامتر المدروس.

يمكن استخدام حجرة بسيطة لإنشاء وطبقات تربة الاختبار والنموذج ضمنها تحت تأثير الجاذبية الطبيعية وبالتالي تكون الاجهادات الجيوساتاتيكية طبيعية عند بناء النموذج وأثناء الاختبار (وهذا ما اعتماده في بحثنا).

هناك طرق أخرى لبناء النموذج باستخدام حجرة معايرة أو مخروط فروستوم المحصور وهي طريق يتم فيها تطبيق اجهادات ضغط على التربة المحصورة لرفع سوية الإجهاد في تربة النموذج الى مستوياته في التربة الأصلية وبالتالي يكون سلوك الإجهاد- التشوه متشابها في كليهما. (Momeni et al, 2017, 4, 6)

2.2 النمذجة الفيزيائية في جهاز الطرد المركزي (ng):

يتم بناء النموذج ضمن جهاز طرد مركزي مصمم لرفع تسارع الجاذبية المطبق على النموذج بمقدار معدل التصغير بين النموذج والأصل، بحيث يتحقق:

$$\frac{\lambda_{acc-m}}{\lambda_{acc-p}} = n \quad (1)$$

حيث  $n, \lambda_{acc-p}, \lambda_{acc-m}$  على الترتيب معامل مقياس التسارع للنموذج، معامل مقياس التسارع للأصل و مقلوب نسبة التصغير.

### 3. النموذج الفيزيائي المستخدم في بحثنا:

#### 1.3 نموذج الوتد:

نموذج الوتد عبارة عن عمود بيتوني مسبق الصب مربع المقطع العرضي، بأبعاد (4.5x4.5 cm) وبطول (70 cm) يتم غرس (60 cm) ضمن الرمل، مسلح بقضبان حديد بقطر (1 mm) وقد تم اختيار أبعاد المقطع بناء على:

أوضح (Sedran, et al, 2001, 1) أنه لكي يكون السلوك بين النموذج والأصل متشابها ويكون سلوك النموذج انعكاساً لسلوك الأصل وبالتالي تتحقق الغاية من النمذجة، يتم الاعتماد على نظريتين أساسيتين، الأولى هي نظرية التشابه والثانية نظرية التحليل اللابيدي.

حيث تركز نظرية التشابه على الاشتراطات التي يجب أن يحققها النموذج حتى يكون سلوكه متشابها للأصل، في حين أن التحليل اللابيدي يركز على اختصار مجموعة محدودة من المتغيرات التي تحكم التجربة الى مجموعة مختصرة من المتغيرات المتجانسة اللابيدية وذلك وفق نظرية باكنغهام.

عرض (Sedran et al, 2001, 4) جدولاً يوضح قوانين التشابه بين النموذج والأصل خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع. خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع..

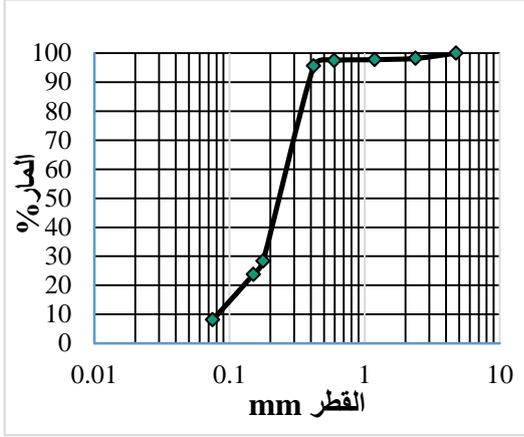
#### الجدول (1) معاملات التصغير لنظام تربة وتد.

Parameter	Scaling factor	Particular set of factors
Length and displacement	$\lambda_L$	$L_m/L_p$
Area	$\lambda_{area}$	$\lambda_L^2$
Volume	$\lambda_{volume}$	$\lambda_L^3$
Density	$\lambda_\rho$	1
Mass	$\lambda_M$	$\lambda_L^3$
Stress	$\lambda_\sigma$	1
Strain	$\lambda_\epsilon$	1
Force	$\lambda_F$	$\lambda_L^2$
Time	$\lambda_T$	$\lambda_L$
Velocity	$\lambda_{vel}$	1
Acceleration	$\lambda_{acc}$	$1/\lambda_L$
Stiffness	$\lambda_K$	$\lambda_L$
Damping	$\lambda_C$	$\lambda_L^2$
Elastic moduli	$\lambda_E$	1

هناك العديد من الأساليب والطرق لنمذجة مسألة وتد في تربة، نذكر منها:

#### 1.2 النمذجة في شروط الجاذبية الطبيعية: (1g)

يتم بناء النموذج ضمن شروط الجاذبية الطبيعية، هنا تنفذ طبقات التربة ونموذج الوتد المختبر حسب المواصفات



الشكل (2) منحنى التدرج الحبي للرمل المستخدم في الاختبار.

الوزن النوعي:

$$G_s = 2.63$$

تم تشكيل الرمل ضمن الصندوق عن طريق اسقاطه تحت تأثير وزنه الذاتي من ارتفاع (1 m) وكانت قيمة الوزن الحجمي الممتثل بهذه الطريقة تقارب  $15\text{kN/m}^3$ . لإيجاد التماسك و زاوية الاحتكاك الداخلي لعينة الرمل تم إجراء تجربة القص المباشر على عينة من الرمل بوزن حجمي  $15\text{kN/m}^3$  فكان المعاملات:

$$C = 0.07, \phi = 31.3^\circ$$

كما أجريت تجربة القص المباشر لإيجاد التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي بين الرمل والبيتون المستخدم لصنع النموذج، فتم صب الجزء السفلي من علبة القص بحيث يلامس سطح القص القالب الخاص بالنموذج ليكتسب نفس خشونة السطح، وتم تشكيل عينة من الرمل بنفس الوزن الحجمي السابق في الجزء العلوي من علبة القص وأجريت التجربة فكانت النتائج:

$$C = 0.17, \phi = 26.3^\circ$$

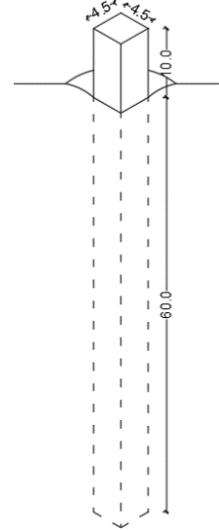
### 3.3 صندوق الاختبار:

بيّن (Al-Mhaidib, 1999, 1,2) أن أبعاد المنطقة المتأثرة بتنفيذ أو تحميل الوتد تمتد من 3 إلى 8 أضعاف قطر الوتد.

1. التوافق مع الدراسات المرجعية السابقة حيث بيّن أصغر بعد مقبول لتكون النتائج الناتجة عن نماذج الاوتاد معتمدة هو (30mm).

2. الإمكانيات المتاحة في المخبر وسهولة التعامل مع النموذج بما يؤمن الدقة اللازمة للتجربة.

يوضح خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع، نموذج الوتد المستخدم من قبلنا.



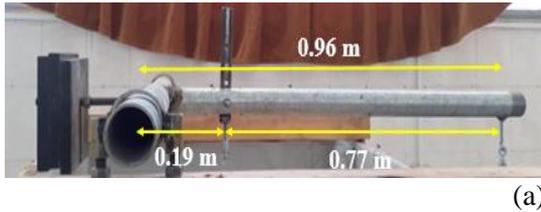
الشكل (1) شكل وابعاد نموذج الوتد البيتوني.

### 2.3 الرمل المستخدم:

الرمل المستخدم هو رمل جاف منتظم (فقير التدرج الحبي) حسب الشكل (2) الذي يظهر منحنى التدرج الحبي للرمل المستخدم في الاختبار. بالمواصفات التالية:

تكون عطالته كبيرة وتمنع أي تشوه فيه نتيجة تطبيق الأحمال، يتصل به في المنتصف أنبوب معدني آخر بقطر 5 سم وسماكة جدار 5 مم، أيضاً بقساوة كبيرة تمنع حدوث تشوهات في الذراع أثناء التحميل، يحمل نقطتي التحميل الأولى هي عبارة عن مفصل متصل مع حامل توضع عليه الأوزان أثناء الاختبار، والنقطة الثانية هي مفصل يقوم بنقل الحمل إلى رأس النموذج بشكل شاقولي، بالإضافة إلى ثقل لتأمين توازنه يوضع في الجهة المعاكسة للأنبوب حامل الأوزان، وهو قابل للمعايرة يحافظ على الأنبوب أفقياً في حال عدم وجود أوزان مطبقة وعدم تطبيق أي حمل على رأس الوتد قبل البدء بإجراء التجربة. حسب الأبعاد المبينة بالشكل يتم تضخيم الحمل المطبق بمقدار (5.1) مرة ويتم قياس الحمولة بدقة بواسطة خلية قياس للحمل تتوضع فوق رأس الوتد.

للمحافظة على توضع نقطة تطبيق الحمل فوق راس الوتد دائماً فيمكن تعديل موقع المفصل حسب الحاجة الشكل 4.



لذلك، لتخفيف تأثير جدران الصندوق على التجربة يجب ألا يقل بعدها عن 8 أضعاف قطر النموذج المستخدم وبما أن قطر النموذج المقترح يساوي (4.5 cm) فإن أصغر بعد للصندوق لا يقل عن:

$$8 * 4.5 = 36 \text{ cm}$$

وقد تم تصنيع صندوق خشبي صلب طول ضلعه يساوي (1m) أي أن جدران الصندوق تقع كلياً خارج منطقة تأثير النموذج.

يبلغ ارتفاع الصندوق (1.5 m)، يتم ملئ ما يقارب (1.4 m) بحيث تتحقق الكثافة المطلوبة ويتحقق مسافة اسفل رأس النموذج المغروس في التربة تعادل ضعف طوله حتى ينتفى تأثير قاعدة الصندوق على مركبة الارتكاز وعلى سلوك النموذج الشكل (3).

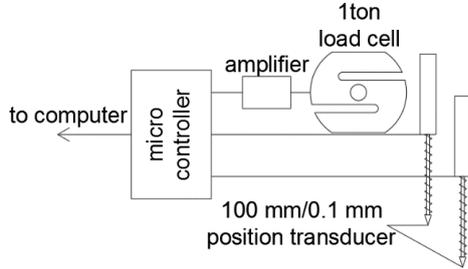


الشكل (3) الصندوق المعد لإجراء الاختبار.

#### 4.3 ذراع التحميل:

يتألف الذراع من أنبوب معدني أفقي يعمل كمحور للدوران، بقطر (7 cm) وسماكة جدار (5 mm) بحيث

يوضح الشكل (5) ربط الحساسات بالمتحكم ومخطط الدارة بشكل عام.



الشكل (5) مخطط دارة القياس الالكترونية.

### 6.3 معايرة الحساسات:

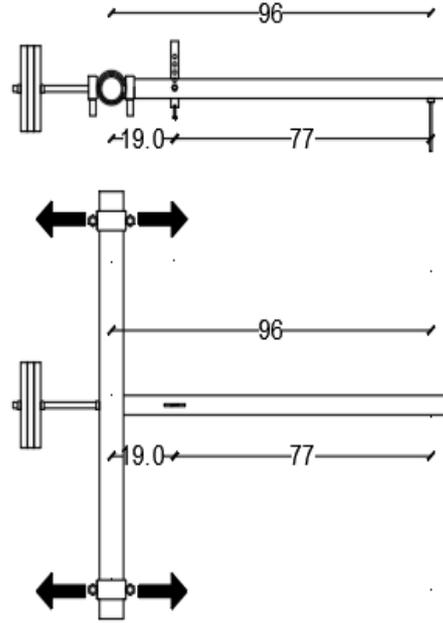
#### 1.6.3 معايرة خلية الحمل:

تم معايرة خلية الحمل عن طريق ربطها مع المتحكم، وبواسطة البرمجية ذاتها المستخدمة في التجربة، تم قراءة خرج خلية الحمل وضع أوزان مخبرية معيارية فوق الخلية بخطوات ثابتة ومعايرة ثابت الخلية بحيث تعطي قراءة مطابقة للحمل المطبق، قمنا بإجراء اختبار المعايرة ثلاث مرات الشكل (6) يوضح آلية اختبار المعايرة.



الشكل (6) ربط خلية الحمل وتحميلها بالأوزان المعيارية مع تسجيل البيانات.

ي هذه المعايرة أظهرت التقارب بين قراءات الخلية في التجارب الثلاث والحمل الحقيقي. كانت النسبة المئوية لأكبر فرق بين قراءة الخلية والحمل الحقيقي لا تتجاوز 1.2%. يوضح الشكل (7)، نتائج معايرة الخلية ودرجة التقارب بين الحمل المطبق وقراءة الخلية في التجارب الثلاثة.



(b)

الشكل 4 (a) ذراع التحميل، (b) مخطط يوضح ابعاد وضبط الذراع.

### 5.3 القياسات:

يتم إجراء القياسات باستخدام دارة الكترونية تم تنفيذها من قبلنا تتألف من ثلاث حساسات:

1- خلية لقياس الحمل (Load cell) استطاعة الخلية (1000 Kg) توصل الخلية الى مضخم عمليات ثم الى وحدة تحكم تقوم بقراءة خرج الخلية وتحويله عبر برنامج مثبت عليها إلى قيمة حمل، وتقوم بنقل قيمة الحمل إلى الحاسب بالوقت الحقيقي.

2- مقياسي انتقال الكترونيين (Position Transducer) شوط الحساس (10 cm) وبدقة (0.1 mm).

يتم ربط حساسي الانتقال مباشرة إلى وحدة تحكم تقوم بقراءة جهد الخرج وتحويله عبر برنامج مثبت عليها إلى قيمة انتقال وتقوم بنقل قيمة الانتقال من كل حساس إلى الحاسب بالوقت الحقيقي.

تمت برمجة وحدة التحكم لتعطي قراءة للحمل والانتقال من كل الحساسات كل دقيقة وذلك لتتبع سلوك النموذج بدقة.

معلوم، لذلك فإن حساب الوزن الحجمي للعينة المتشكلة ممكن في كل اختبار، وللاختبار الأول كان الوزن الحجمي للعينة المتشكلة  $(15.1 \text{ kN/m}^3)$ .

#### 2.1.4 دق النموذج:

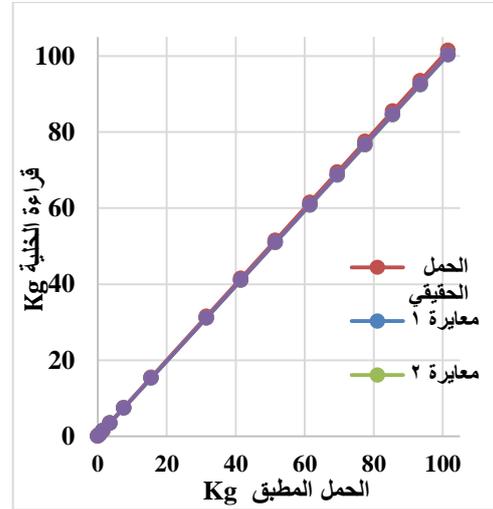
يثبت جهاز الدق فوق رأس النموذج المربع بشكل موثق ويوضع النموذج في مركز الصندوق للابتعاد عن الجدران بشكل متساوي.

جهاز الدق مصنع ضمن المخبر يحاكي مطرقة بروكتور بهدف تقديم طاقة دق ثابتة للنموذج قدر الامكان، وبحيث تكون شروط الدق ثابتة عند تكرار التجربة.

يتم التأكد من شاقولية النموذج طيلة عملية الدق.

يتألف جهاز الدق من:

1. قبة أفقية تثبت بالبراغي مع رأس الوتد لمنع أي حركة نسبية بين الجهاز ورأس الوتد حرصاً على عدم ضياع في الطاقة.
2. أنبوب بلاستيكي أملس مزود بثقوب من الأعلى والأسفل لمنع حصول انضغاط في الهواء أثناء حركة النقل ضمنه، كما يحوي في الأعلى برغي مثبت بحيث يكون ارتفاع سقوط الوزن ثابتاً في جميع الطرقات ومساوي (40 cm).
3. وزن اسطواني ثابت يساوي (1.5kg) يتحرك ضمن الأنبوب إلى ارتفاع (40cm) ويسقط سقوط حر ليصطدم بالقبة لتنتقل الطاقة الناتجة إلى رأس النموذج.
4. خيط مهمل الكتلة مهمته رفع الوزن ضمن الأنبوب إلى الارتفاع المطلوب وتركه ليسقط تحت تأثير وزنه الذاتي. ويبين الشكل (8) رسم توضيحي لجهاز الدق.



الشكل (7) نتائج اختبار معايرة خلية الحمل.

#### 2.6.3 معايرة حساس الانتقال:

تم معايرة حساس الانتقال برمجياً حيث تتناسب قيمة الخرج مع انتقال الحساس خطياً حيث يكون فولط الخرج صفرياً عندما ينضغط الحساس بكامل شوطه، بينما تكون قيمة فولط الخرج مساوية لفولط التغذية عندما يكون شوط الحساس ممتداً بشكل كامل وقيمة فولط الخرج بينهما تتناسب مع انتقال الحساس.

#### 4. الاختبارات:

##### 1.4 الاختبار الأول:

تم التحضير للاختبار التحميل الأول على النموذج المربع وفق الخطوات التالية:

##### 1.1.4 تشكيل الرمل:

لتشكيل عينة الرمل يتم ملئ الصندوق يدوياً وعلى طبقات، اسقاط الرمل الجاف تم من ارتفاع ثابت (1m) تحت تأثير وزنه الذاتي (Dong 2013).

إن وزن الرمل المفرغ في الصندوق طيلة عملية التعبئة معلوم، وارتفاع العينة ضمن الصندوق عند انتهاء التعبئة

إن عمق انغراس النموذج في بداية عملية الدق حيث الرمل بكثافته الطبيعية تحت رأس الوتد، يكون سهلاً لأن مقاومته لانغراس النموذج منخفضة، وجسم الوتد كاملاً خارج الرمل وبالتالي لا يوجد مقاومة احتكاك على الجوانب.

ومع تزايد عدد الطرقات وازدياد العمق المنغرس، تزداد كثافة الرمل أسفل رأس النموذج بتأثير الطاقة المقدمة له، وبالتالي تزداد مقاومة الرمل لاختراق النموذج.

من ناحية أخرى نتيجة اختراق النموذج تتم عملية ازاحة للرمل حول الوتد مما يسهم بتشكيل احتكاك سطحي يزيد في مقاومة الاختراق، وهذا ما يظهر جلياً في الشكل (9) الذي يبين أن ميل المنحني كبير في بداية عملية الدق ليبدأ بالانخفاض مع ازدياد عدد الطرقات وعمق الغرس.

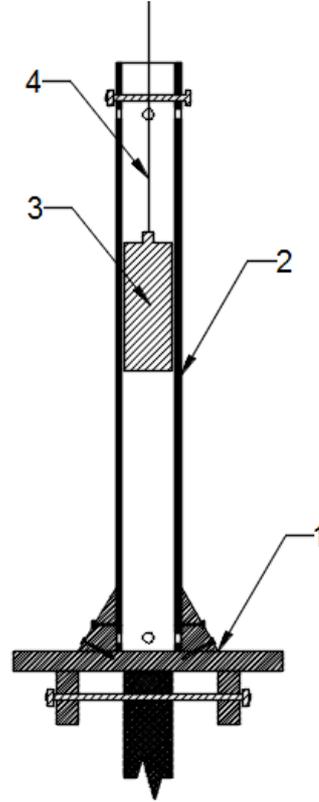
#### 3.1.4 ضبط الذراع والحساسات:

بعد الوصول إلى العمق المطلوب يتم تثبيت قبة التحميل التي تستند إليها أجهزة القياس وتويق بشكل جيد مع رأس النموذج لمنع الحركة النسبية التي قد تؤثر على دقة القياسات في بداية التجربة.

يثبت ذراع التحميل مع ثقل الموازنة بحيث يكون الذراع أفقياً بوضعه الطبيعي دون أوزان ولا ينتقل أي ثقل منه إلى النموذج قبل البدء بالتحميل.

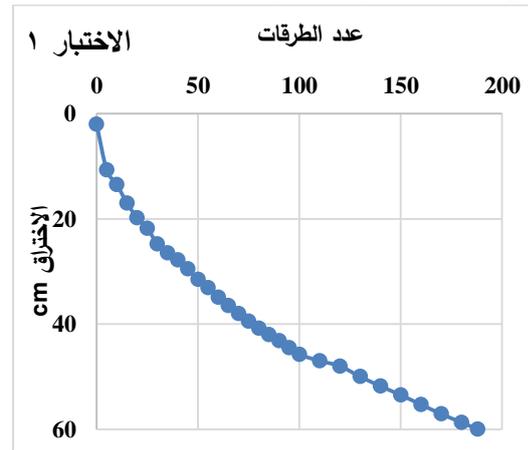
تثبت حساسات الموضع على الحامل بشكل قطري ليتم أخذ وسطي القراءات لاحقاً وذلك بهدف معالجة أية أخطاء قياس ناتجة عن تركيب التجربة، وبحيث تكون الحساسات منضغطة جزئياً بمسافة أكبر من الهبوط المتوقع للنموذج لتغطي قراءاتها كامل التجربة.

توضع خليه الحمل بشكل مركزي فوق رأس النموذج لتكون قراءتها هي الحمل الفعلي المنقول إليه.



الشكل (8) جهاز الدق.

يوضح الشكل (9) أن عدد الطرقات اللازم لايصال النموذج لعمق غرس (60 cm) يساوي 188 طرقة.



الشكل (9) عدد الطرقات مقابل الاختراق (اختبار 1).

إن قيمة اختراق النموذج للرمل في بداية عملية الدق تكون كبيرة، وتبدأ قيمة الاختراق بالتناقص مع ازدياد عدد الطرقات.

النموذج بالهبوط والحساسات تسجيل الانتقال والحمل كل 60 ثانية.

يتم الإبقاء على الحمل ثابتاً حتى ثبات الهبوط أو حتى يصبح معدل الهبوط صغيراً جداً مع الزمن (ألا يتجاوز معدل الهبوط  $0.25 \text{ in/h}$ ) وبما لا يتجاوز الساعتين) وذلك بحسب اشتراطات (ASTM, 1994) ويتم بعدها اضافة الحمل التالي، حتى وصول النموذج الى مرحلة الانهيار حيث يصبح الهبوط مستمرا دون أي زيادة في الحمل.

يبين الشكل 11 منحنى الحمل مقابل الهبوط ، وهو اختبار التحميل الاستاتيكي للنموذج الأول

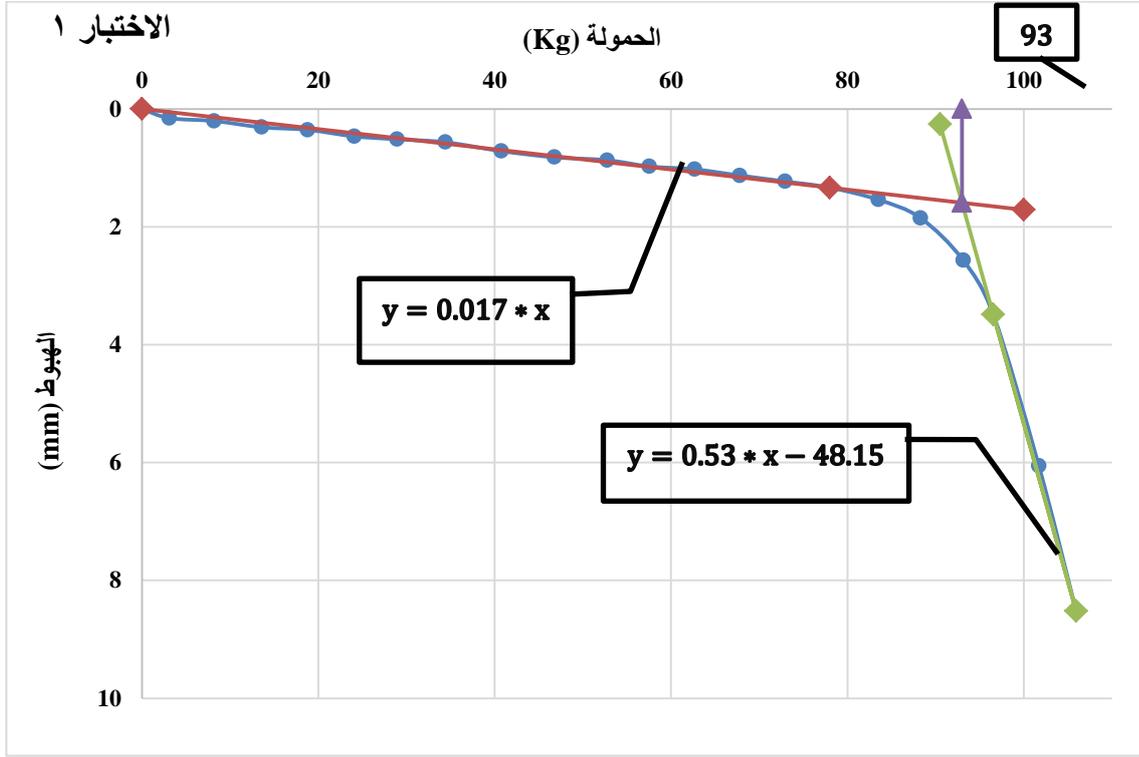
يتم الحفاظ على جميع الحساسات شاقولية لتكون القراءات أدق ما يمكن الشكل (10) تثبيت ذراع التحميل وحساس الانتقال وخلية قياس الحمل فوق النموذج.



الشكل (10) تثبيت ذراع التحميل وحساس الانتقال وخلية قياس الحمل فوق النموذج.

#### 4.1.4 عملية التحميل:

يتم اضافة حمل في نهاية الذراع ليتم تضخيمه حسب النسبة الموضحة وتسجيله بواسطة خلية الحمل ويبدأ



الشكل 11 منحنى الحمولة مقابل الهبوط للاختبار الاول.

#### 2.4 الاختبار الثاني:

يفرغ الصندوق من الرمل بشكل كامل ويعاد ملؤه بنفس الخطوات لاعادة تشكيل الوزن الحجمي الولى للعينة قبل الدق والتحميل عند اعادة التشكيل وكون عملية الملى تتم بشكل يدوي كان الوزن الحجمي المتشكل في الاختبار الثاني (15.4).  
kN/m<sup>3</sup>)

يبين الشكل (12) نتائج دق النموذج للمرة الثانية.

وقد احتاج الى 178 طرقة للوصول لعمق غرس (60cm).

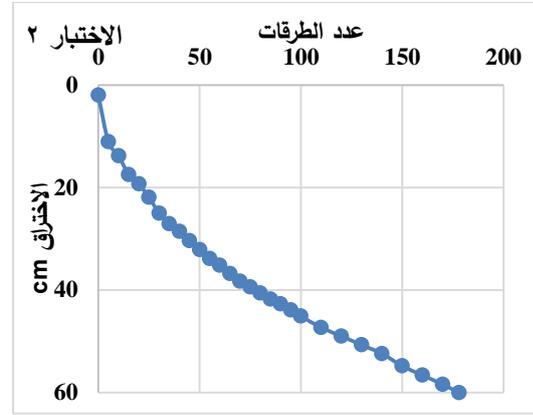
الشكل 11 يظهر لنا أن المنحني يتألف من ثلاث مراحل، المرحلة الأولى هي مرحلة المرونة وهنا تكون الحمولة منخفضة والهبوط المقابل صغيراً، وعند اقتراب قيمة الحمولة من قدرة التحمل الحدية للنموذج يدخل النموذج في المرحلة الانتقالية فتصبح قيمة الهبوط عالية مقابل نفس خطوة التحميل، ومع زيادة الحمل يدخل النموذج مرحلة الانهيار حيث يصبح الهبوط كبيراً جداً مقابل حمولة ثابتة.

بانشاء مماسي مرحلة المرونة ومرحلة الانهيار فان نقطة تقاطعهما تمثل قدرة التحمل الحية للنموذج وكانت (93 Kg).

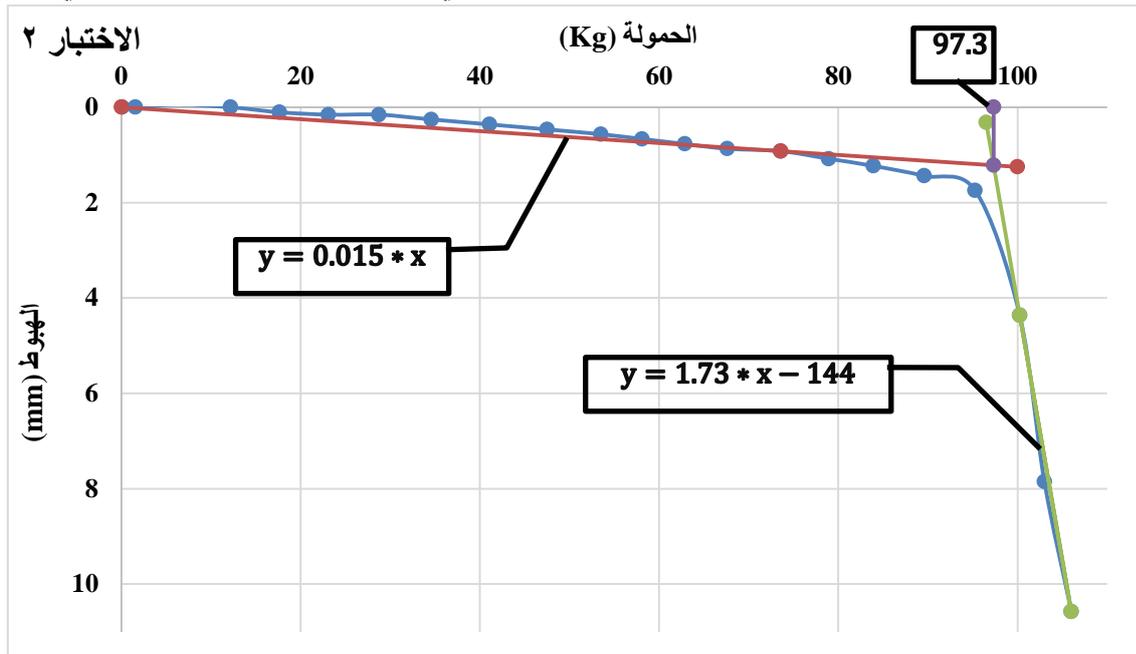
تم إعادة الاختبار ثلاث مرات أخرى وفيما يلي عرض نتائج الاختبار الثاني والثالث والرابع.

مقارنة مع الاختبار الاول هناك فارق 10 طرقات وهو فارق بسيط يمكن أن يعزى الى أن عملية الطرق تتم بشكل يدوي وليس آلي وبالتالي هناك اختلافات بسيطة لا يمكن ضبطها بشكل كامل اثناء تنفيذ التجارب.

ثم تركيب قبعة التحميل وتثبيت الحساسات كما وصف سابقا مع الحرص على وضع خلية الحمل فوق رأس النموذج مباشرة ووضع مقاييس الانتقال بشكل قطري على القبعة والحفاظ على شاقولية الحساسات طيلة فترة التجربة. يبين منحنى الحمولة مقابل الهبوط للاختبار الثاني.



الشكل (12) عدد الطرقات مقابل الاختراق (اختبار 2).



الشكل (13) منحنى الحمولة مقابل الهبوط للاختبار الثاني.

الأول، وتحليل المنحني يظهر أن الحمولة الحدية تساوي (97.3 Kg) وهي أعلى بـ 4.6% من الحمولة الحدية للاختبار الأول.

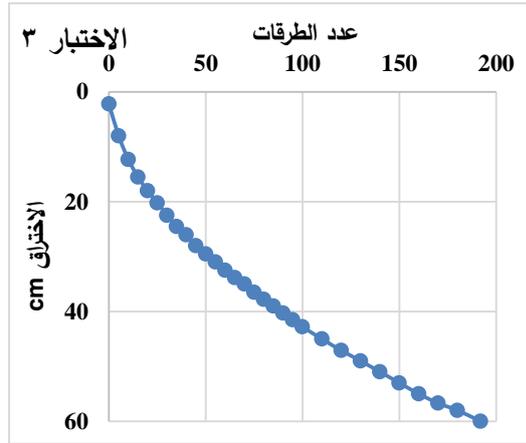
### 3.4 الاختبار الثالث:

تم تفريغ الصندوق بالكامل وإعادة ملئه مرة أخرى بإسقاط الرمل من ارتفاع (1m) تحت تأثير وزنه الذاتي

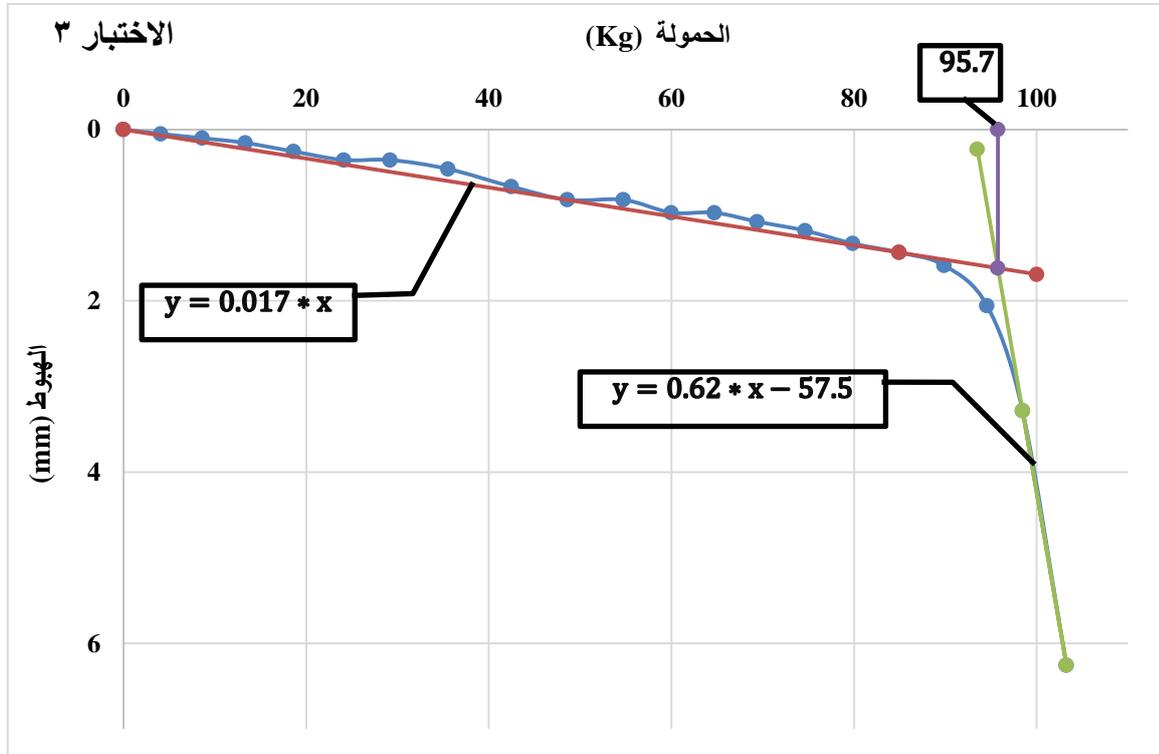
يظهر في الشكل (13) منحنى الحمولة مقابل الهبوط للاختبار الثاني. إن ميل المرحلة المرنة من المنحني قريب من الميل في الاختبار الأول وذلك يدل على السلوك المتقارب للنموذج في الاختبارين، بينما في مرحلة الانهيار يظهر ميل أكبر للمنحني مما نتج في الاختبار الأول أي أن سرعة الانهيار كانت أكبر مما هي عليه في الاختبار

يظهر الشكل (15) أن ميل المرحلة المرنة المنحني يساوي 0.017 وهو مساوي للميل في الاختبار الأول والثاني مما يؤكد تطابق السلوك المرن للنموذج في الاختبارات، وتختلف مرحلة الانهيار عنها في الاختبار الثاني لكنها مقاربة لسلوك الانهيار في الاختبار الأول، وتحليل المنحني يظهر أن الحمولة الحدية تساوي ( 95.7 Kg) وهي أعلى بـ 3% من الحمولة الحدية للاختبار الأول وأقل بـ 1.7% منها للاختبار الثاني.

لكامل كمية الرمل المستخدم في الاختبارين السابقين وقياس الارتفاع المتشكل داخل الصندوق، فكان الوزن الحجمي المتشكل ( $15.2 \text{ kN/m}^3$ ).  
يبين الشكل (14) نتائج عملية دق الوتد للاختبار الثالث ويظهر أن النموذج احتاج الى 192 طرقة للوصول لعمق غرس (60 cm).



الشكل (14) عدد الطرقات مقابل الاختراق (اختبار 3).



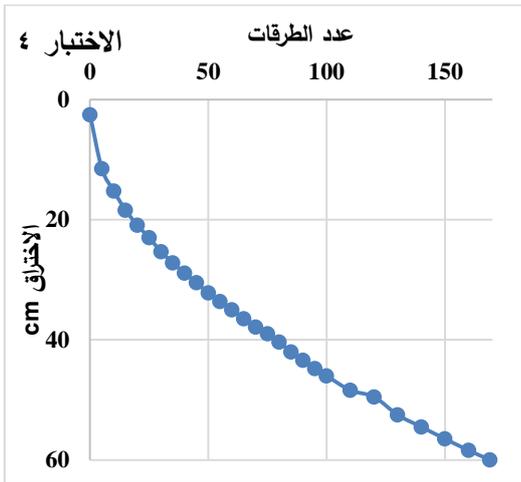
الشكل (15) منحنى الحمولة مقابل الهبوط للاختبار الثالث.

#### 4.4 الاختبار الرابع:

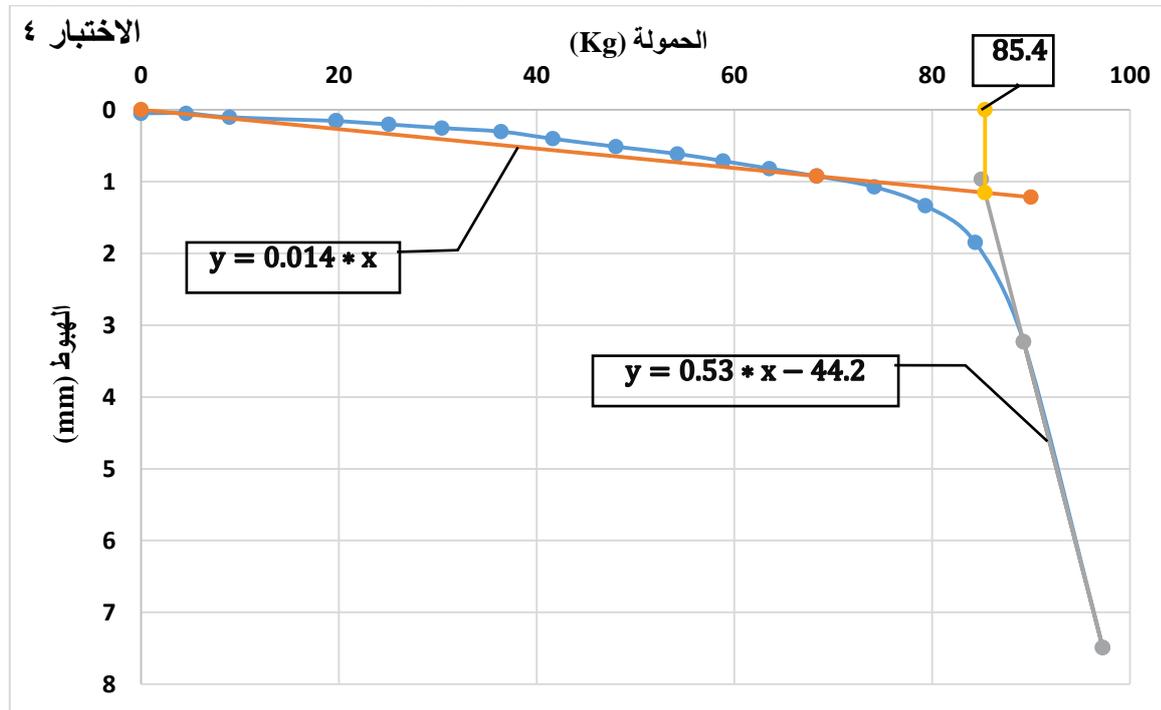
(85.4 Kg) يعود انخفاض قيمة الحمولة الحديدية الى الكثافة المنخفضة للرمل المشكل.

أعيد تشكيل عينة الرمل وكان الوزن الحجمي المتشكل  $14.7 \text{ kN/m}^3$  يعود ذلك لتشكيل العينة يدويا وبالتالي حصول بعض الاختلافات اثناء عملية التشكيل، تلا ذلك عملية دق النموذج كما يظهر في الشكل (16) عدد الطرقات مقابل الاختراق (اختبار 4). الشكل (16)، وكان عدد الضربات اللازم للوصول الى العمق المطلوب يساوي 169 ضربة يعزى ذلك الى الكثافة المنخفضة للعينة.

ويبين الشكل (17) سلوك النموذج أثناء التحميل الاستاتيكي حتى الانهيار، ليظهر واضحا أن ميل المرحلة المرنة مقارب للاختبارات السابقة وكذلك ميل مرحلة الانهيار، ويظهر أن الحمولة الحديدية لهذا الاختبار هي



الشكل (16) عدد الطرقات مقابل الاختراق (اختبار 4).



الشكل (17) منحنى الحمولة مقابل الهبوط للاختبار الرابع.

### المناقشة والاستنتاجات:

0.17، وهذا يدل على ان سرعة الهبوط في مرحلة المرونة متقاربة في مرحلة المرونة في جميع التجارب، أما في مرحلة الانهيار نلاحظ أن سرعة الهبوط متقاربة في الاختبارات الثالث والرابع، أما في الاختبار الثاني فإن سرعة الهبوط أعلى.

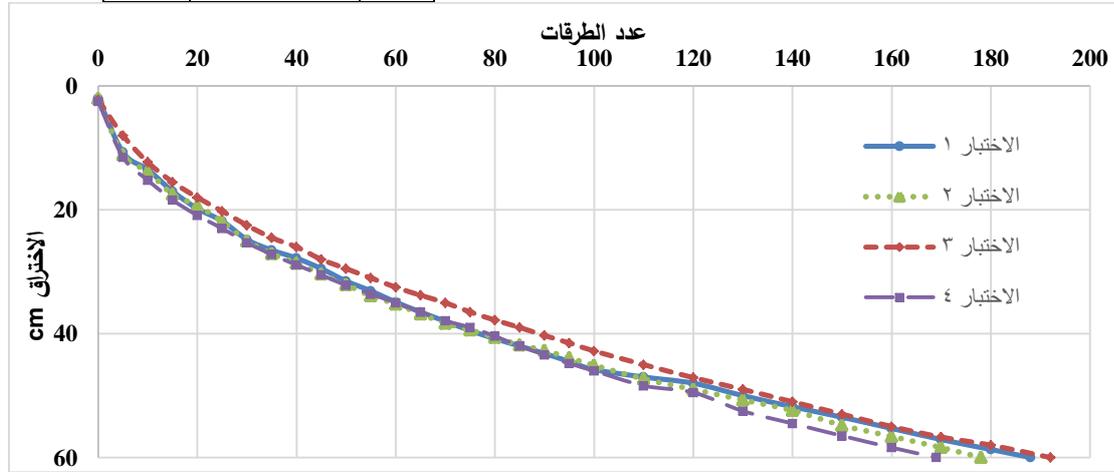
الجدول (2) يبين قيم الحمولات الحدية الناتجة في كل اختبار والفروق النسبية بينهاالجدول (2) الحمولات الحدية ونسب الفرق..

الجدول (2) الحمولات الحدية ونسب الفرق.

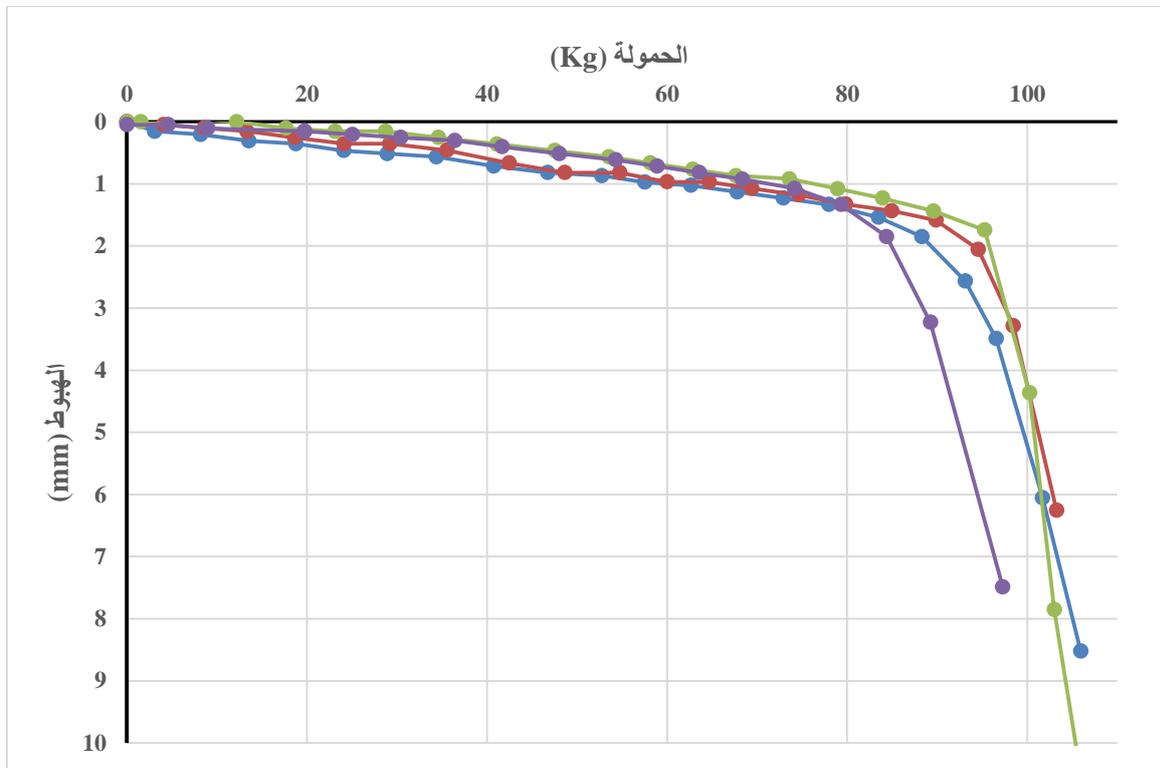
الاختبار	الحمولة الحدية Kg	الفارق %
1	93	
2	97.3	4.6%
3	95.7	1.6%
4	85.4	12.1%

الشكل (18) مقارنة بين طاقة الدق المقدمة للنموذج في الاختبارات الأربعة، ويظهر فيه السلوك المتقارب للنموذج حيث لا يتعدى الفارق في لطاقة المقدمة للنموذج بين أعلى قيمة في الاختبار الثاني وأدنى قيمة في الاختبار الرابع 14.3% ويعود الفارق في الطاقة المقدمة بين الاختبارات بكثافة العينة المتشكلة فكلما ازدادت كثافة الرمل احتاج النموذج الى طاقة اعلى لايصاله الى العمق المطلوب وكون الفرق بين المتافات المتشكلة صغير نسبياً، فإن الفرق في طاقة الدق ايضا لم يكن كبيراً فالفارق بين الاختبارات الثلاثة الأولى لا يتعدى 8%.

الشكل (19) يمثل منحنيات التحميل مجتمعة، جميع المنحنيات متطابقة تقريبا في مرحلة المرونة كما اظهر حساب الميول لمرحلة المرونة فكانت تتراوح بين 0.14 الى



الشكل (18) مقارنة طاقة الدق للاختبارات الأربعة.



الشكل (19) مقارنة منحنيات التحميل مع الهبوط في الاختبارات الاربعة.

مما سبق يكون:

- 1- عند اللجوء للنمذجة الفيزيائية لدراسة سلوك نموذج وتدي يجب أن يكون تصميم التجربة دقيقا وبما يراعي الاشتراطات الرياضية التي تحقق التشابه ويتوافق مع الدراسات المرجعية.
- 2- يجب ان تكون اجراءات تحضير الرمل وبناء النموذج في كل تجربة متماثلة من حيث طرق العينة لكي نحافظ على سلوك النموذج أثناء عملية الدق وأثناء تنفيذ تجربة التحميل.
- 3- تظهر نتائج الاختبارات أن سلوك النموذج مشابه لسلوك الأوتاد بالمقياس الحقيقي وخاصة ظهور المراحل الثلاثة للسلوك بدءاً بالمرونة فالمرحلة الانتقالية فالدخول في اللدونة والانهيال.

يعزى الفارق في الحمولات الحديدية الى الاختلاف الناتج في الوزن الحجمي لرمل الاختبار والة اختلاف الكثافة حول النموذج اثناء الدق وذلك كون عملية التشكيل والدق تتم بصورة يدوية، ولكن كون الاختلافات صغيرة فإن الفارق في الحمولات الحديدية مقبول فيما عدى الاختبار الرابع، حيث بلغ الفارق بين الحمولة الحديدية الاعلى للاختبار الثاني والأدنى للاختبار الرابع 13.8%، بينما لا يتجاوز الفارق بين قيم قدرة التحمل الحديدية في الاختبارات الثلاثة الأولى 4.6%، ويمكن ضبط هذه التغيرات بزيادة الدقة في تنفيذ الخطوات واستخدام المكننة في عملية التشكيل والدق.

4- اعتماداً على الدراسات المرجعية ونتائج الاختبار على النموذج المربع فإنه يمكن اعتماد التجربة المصممة والاختبار المطبق في هذا البحث لإجراء دراسات بارامترية لاحقة ومقارنتها بنتائج النموذج المرجعي.

## Reference

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*: 724–30.
2. ASTM. 1994. "Standard Test Method For Pile Under Static Axial Compressive Load" American Society for Testing and Materials <D 1143 - 81>.
3. Dong, Wei. 2013. *Theory and Practice of Pile Foundations*.
4. Ibrahim, Saad, Hasanian Hasan, and Amjad Fadhil. 2014. "Evaluation of Bearing Capacity for Model Piles Driven in Sandy Soils." *journal of engineering and development* 18(3): 26.
5. Leong, wong kok, nor aziz Yusoff, and ameer nazrin abd aziz. 2015. "Theoretical and Actual Bearing Capacity of Driven Piles Using Model Piles in Sand." 733–774: 1453–59.
6. Momeni, Roya, Vahid Rostami, and Javad Khazaei. 2017. "Study of Physical Modelling for Piles." 2017: 1160–75.
7. Sadrekarimi, Jamshid, M. Behpour Gouhari, and Amir Roohimehr. 2009. "Surface Roughness Effects on the Bearing Capacity of Piles in Dry Sand." *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 14 A: 1–17.
8. Sedran, G., D. F.E. Stolle, and R. G. Horvath. 2001. "An Investigation of Scaling and Dimensional Analysis of Axially Loaded Piles." *Canadian Geotechnical Journal* 38(3): 530–41.
9. Vesic, Aleksandar S. 1977. June 1999 "Design of Pile Foundations": *National Cooperative Highway Research Program, Synthesis Highway Practice Report No. 42*.
10. Wood, David Muir. 2004. *Geotechnical Modelling*. 1st ed.