

## A Three-dimensional Numerical Study Using (FLAC3D) of Tensile Load Capacity of Piles

Dr. Rami Al-Abdeh\*  
Rasha Ahmad\*\*

(Received 28 / 9 / 2021. Accepted 22 / 3 / 2022)

### □ ABSTRACT □

Pile foundation are used when the bearing capacity of the soil is insufficient in the presence of the shallow foundations.

Practically, the piles that exposed to compressive stresses are more common and frequently used but also the piles that exposed to tensile stresses are used in many cases and have a great importance. the resistance of the piles to the tensile stresses directly affects the stability of facilities whether in retaining walls or in installations exposed to horizontal forces and upheaval moment because of the wind, the waves [11], also the study of this case for piles allows us to estimate the force required to be applied to the pile to remove it from the soil after finishing the use of piles in the temporary support.

There are several methods for determining the tensile resistance of piles such as experimental methods (laboratory or field ), analytical methods, and numerical methods. The experimental methods (especially the field methods) are the closest to reality but they are so expensive and need high accuracy in implementation, as for the analytical methods depend on hypotheses or approximate relationships so they may not give accurate results of reality when generalized. The numerical methods provide high accuracy and simulate reality, saving time and effort, therefore, in this paper, we will work on creating and developing a 3D model which will be used to determine the tensile strength of the piles.

For modeling, the program was used (FLAC(3D) v3.261), which depends on the finite difference method. We established a numerical analysis for a concrete pile in a homogeneous soil and exposed to a tension force and we figured the tensile strength of the pile.

The model was achieved in this research has been validated by the results of the field study [11] and laboratory study [13].

Then a parametric study was conducted to verify the effect of some parameters that may affect the tensile strength of the pile.

**Keywords:** Tensioned piles, pile capacity, numerical study, FLAC3D

---

\*Assistant-Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ramihashimalabda@tishreen.edu.sy

\*\*Postgraduate Student (Master), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. rashrash9191@gmail.com

## دراسة عددية ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج (FLAC3D) لقدرة تحمل الأوتاد على الشد

د. رامي العبدية\*

رشا أحمد\*\*

(تاريخ الإيداع 28 / 9 / 2021. قُبِلَ للنشر في 22 / 3 / 2022)

### □ ملخص □

تستخدم الأساسات الوتدية عندما تكون قدرة تحمل التربة غير كافية بوجود الأساسات السطحية. عملياً تعتبر الأوتاد المعرضة لإجهادات ضغط هي الأكثر شيوعاً واستخداماً، ولكن الأوتاد المعرضة لإجهادات شادة تستخدم في حالات عديدة ولها أهمية كبيرة أيضاً، لأن مقاومة الأوتاد على الشد لها تأثير مباشر على استقرار المنشآت المقامة على هذه الأوتاد سواء في الجدران الاستنادية أو في المنشآت المعرضة لقوى أفقية وعزوم انقلاب نتيجة الرياح، الأمواج. كما أن دراسة هذه الحالة للأوتاد تسمح بتقدير القوة اللازم تطبيقها على الوتد لنزعه من التربة بعد الانتهاء من استخدام الأوتاد في التدعيم المؤقت. لذلك فإن دراسة سلوك الأوتاد تحت تأثير الإجهادات الشادة بحاجة إلى المزيد من التعمق والدراسة. يوجد طرق متعددة لتحديد قدرة تحمل الأوتاد على الشد وتقسّم عموماً إلى طرق تجريبية (مخبرية وحقلية) وطرق تحليلية وطرق عددية. تتميز الطرق التجريبية وخاصة الحقلية بكونها الأقرب للواقع ولكنها مكلفة وتتطلب دقة في التنفيذ، أما الطرق التحليلية تعتمد على فرضيات أو علاقات تقريبية وبالتالي فقد تعطي نتائج بعيدة عن الواقع أحياناً عند تعميمها على كل الحالات. حالياً تستخدم الطرق العددية كثيراً نظراً لما تقدمه من دقة عالية ومحاكاة للواقع وتوفير للوقت والجهد وإمكانية دراسة تأثير البارامترات المختلفة التي تؤثر على قدرة تحمل الأوتاد على الشد ولذلك سنقوم في هذا البحث بإنشاء و تطوير نموذج ثلاثي الأبعاد سيتم استخدامه لتحديد قدرة تحمل الوتد الحدية على الشد. تمت النمذجة العددية باستخدام برنامج الحساب العددي (FLAC(3D) v3.261) الذي يعتمد على طريقة الفروقات المحددة. تم وضع موديل عددي لوتد بيتوني في تربة متجانسة ومعرض لقوة شد شاقولية أو مائلة ونتيجة التحليل العددي توصلنا إلى حساب قدرة تحمل الوتد على الشد.

تم تحقيق الموديل على نتائج تجريبية حقلية وحصلنا على تقارب جيد ما بين القيم العددية والتجريبية. تم توظيف النموذج العددي لإجراء دراسة بارامترية لبعض العوامل المؤثرة على قدرة تحمل الوتد على الشد.

**الكلمات المفتاحية:** أوتاد مشدودة، قدرة تحمل الوتد، دراسة عددية، برنامج FLAC3D .

\* مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .  
ramihashimalabda@tishreen.edu.sy  
\*\*طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
rashrash9191@gmail.com

**مقدمة:**

إن التأسيس على الأوتاد معروف منذ القدم وقد تطور تطوراً كبيراً حتى وصل إلى حالته الحالية المعروفة، كما أن التطور العلمي وتطور طرق التنفيذ جعلت منه أكثر أنواع الأساسات العميقة انتشاراً. يستخدم التأسيس على الأوتاد من أجل تنفيذ مختلف المنشآت الضخمة من خزانات وركائز جسور وأبنية عالية وصوامع حبوب..... إلخ.

الأوتاد هي عناصر إنشائية عبارة عن أعمدة أو دعائم مغمورة في التربة تنقل الأوزان الذاتية وحمولات الاستثمار من المنشآت المقامة عليها إلى طبقة التربة الثابتة العميقة وذلك في الحالات التي لا يمكن أن تنجح فيها حالات التأسيس السطحي أو طرق تحسين التربة.

عادة ما تنفذ الأوتاد في التربة عن طريق الدق أو الحفر أو الضغط ثم تنفذ فوقها بلاطة تربط الأطراف العلوية للأوتاد. الأوتاد قد لا تكون معرضة فقط لقوى ضغط محورية فهي قد تكون معرضة أيضاً للانعطاف والشد والقتل [18]، وذلك حسب اتجاه الحمولات المنقولة إليها وموضع تطبيقها. في هذا البحث سنقوم بدراسة الأوتاد المعرضة لإجهادات شد شاقولية أو مائلة والتي لم يتم تناولها بشكل موسع في الأبحاث السابقة مقارنة بالأوتاد المعرضة لإجهادات ضاغطة. تصادف الأوتاد المشدودة في حالات عديدة مثل الجدران الاستنادية، وفي المنشآت المعرضة لقوى أفقية مثل المنشآت المائية وأبراج الكهرباء أو الإرسال المعرضة لقوى الرياح [11].

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن التصميم الأمثل للأوتاد المعرضة لإجهاد شد وللمعدات اللازمة لسحبها من التربة في حال استخدامها بشكل مؤقت يسلمتم التحديد الدقيق لقدرة تحملها على الشد.

يعتبر البحث طريقة تحديد قدرة تحمل الأوتاد على الشد موضوعاً مهماً في مجال هندسة الأساسات، حيث يوجد علاقات تحليلية متعددة لتقدير قدرة التحمل الحدية على الشد للأوتاد تم وضعها تجريبياً (حقلياً أو مخبرياً) ولكن تعميم هذه العلاقات قد يعطي نتائج خاطئة أو غير دقيقة ومن هنا تأتي أهمية إجراء دراسة عددية للأوتاد المعرضة لإجهادات شد تسمح بأخذ بارامترات كل من الوند والتربة وطريقة التحميل بعين الاعتبار من أجل التقدير المنطقي لقدرة تحمل الأوتاد على الشد.

**طرائق البحث ومواده:**

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن ويمكن تقسيمه إلى المراحل الأساسية التالية:

- دراسة مرجعية تشمل تعريفاً بالأوتاد المشدودة واستخداماتها، ثم شرح لأهم لطرق والعلاقات المستخدمة من أجل تحديد قدرة تحمل الأوتاد المعرضة لإجهادات شد وتقييمها.
- نمذجة ثلاثية الأبعاد للمسألة المدروسة بطريقة الفروقات المحدودة باستخدام برنامج التحليل العددي المتطور (Flac3Dv3.261)، والقيام بمقارنة نتائج النموذج مع قياسات مرجعية حقلية بهدف معايرة النموذج. وتشمل هذه المرحلة قسمين:

- ✓ وضع الموديل العددي.
- ✓ تحقيق الموديل العددي على تجارب شد وند حقلية في حالة لوند شاقولي معرض لقوة شد وفق محوره .
- ✓ دراسة بارامترية لبعض العوامل المؤثرة على قدرة التحمل الحدية على الشد للوند المدروس.

### لمحة عن برنامج FLAC3D:

يستخدم برنامج FLAC3D طريقة الفروقات المحدودة، ويتميز بأنه يقدم تحليلاً ثلاثياً للأبعاد 3D قادر على محاكاة سلوك المنشآت المقامة على الترب والصخور.

طريقة الفروقات المحدودة (FDM) هي طريقة عددية تحتاج إلى وضع موديلات عددية لتمثيل سلوك التربة تحت تأثير الإجهادات المطبقة، وهذه الطريقة لا تعتمد على تشكيل مصفوفة للحل حيث يتم تعريف المتغيرات الحقلية فقط في العقد وليس بين العقد.

يتم في طريقة الفروقات المحدودة (FDM) الحل عن طريق خطوات زمنية محددة، حيث تعتمد هذه الطريقة على حل المشكلة عن طريق الفروقات الزمنية، ثم تحسب الإجهادات والتشوهات لكل خطوة زمنية عن طريق الفروقات الأمامية أو الخلفية أو المركزية.

يتم تمثيل المواد بواسطة عناصر متعددة السطوح من خلال شبكة ثلاثية الأبعاد والتي يمكن التحكم بها لتلائم الحالة المدروسة بشكل جيد، كل عنصر يسلك سلوكاً محدداً (خطياً أو لا خطياً) وفق قانون (إجهاد، تشوه) مستجيباً للقوى المطبقة والشروط الطرفية المفروضة.

#### الموديل العددي المستخدم:

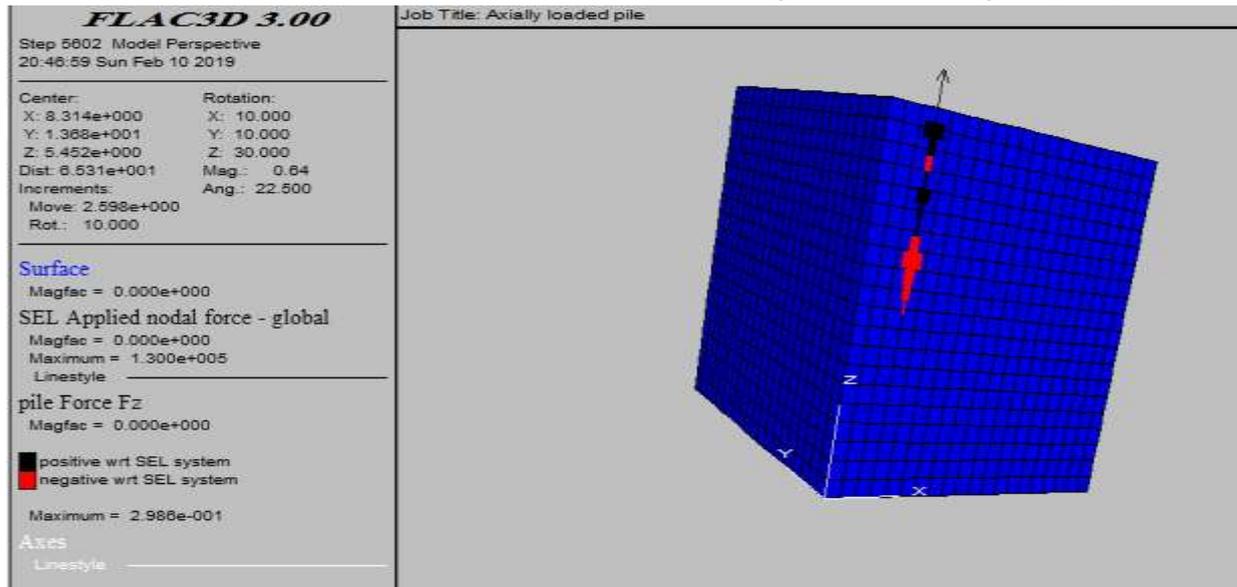
تم إعداد نموذج عددي لوتد بيتوني شاقولي موضوع في التربة بطول L وقطر D وتم تطبيق حمولة شد عليه في المركز وفق محوره الشاقولي.

تم نمذجة التربة في برنامج (Flac3D) وفق عنصر (zone brick)، حيث تم تقسيم نموذج التربة إلى شبكة ثلاثية الأبعاد يمكن التحكم بها لتلائم الحالة المدروسة. قانون سلوك التربة المستخدم هو (Mohr Coloumb).

تم نمذجة الوتد وفق عنصر (pile)، وقانون سلوك الوتد المستخدم هو القانون المرن الخطي (Elastic).

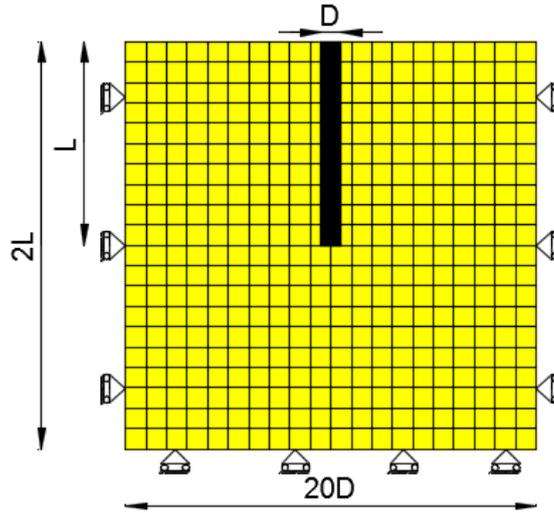
تم تطبيق قوة الشد على رأس الوتد في المركز الشكل (1-1)، حيث قمنا بالتطبيق المتزايد لقوى الشد (وفقاً لقيم القوى في الدراسات المرجعية المعتمدة في النمذجة [11] [13] حتى حصول الانهيار (انسحاب الوتد من التربة)).

يبين الشكل (1-1) نموذج التربة والوتد وتوضع المحاور والتقسيمات المستخدمة وشكل تطبيق قوة الشد على الوتد.



الشكل (1-1): نموذج التربة والوتد مع تطبيق قوة شد في أعلى الوتد وموقع تطبيق المحاور.

بالنسبة للشروط الطرفية للنموذج تم تقييد الحركة بالاتجاهين الأفقي والشاقولي عند حد الموديل السفلي في حين سمح بالانتقال الشاقولي فقط عند الحدود الجانبية، وترك السطح العلوي (سطح التربة) حراً كما في الشكل (1-2).  
يبين الشكل (1-2) الحدود الطرفية المعتمدة وأبعاد نموذج التربة المستخدم:



الشكل (1-2): الشروط الطرفية والأبعاد للنموذج المستخدم.

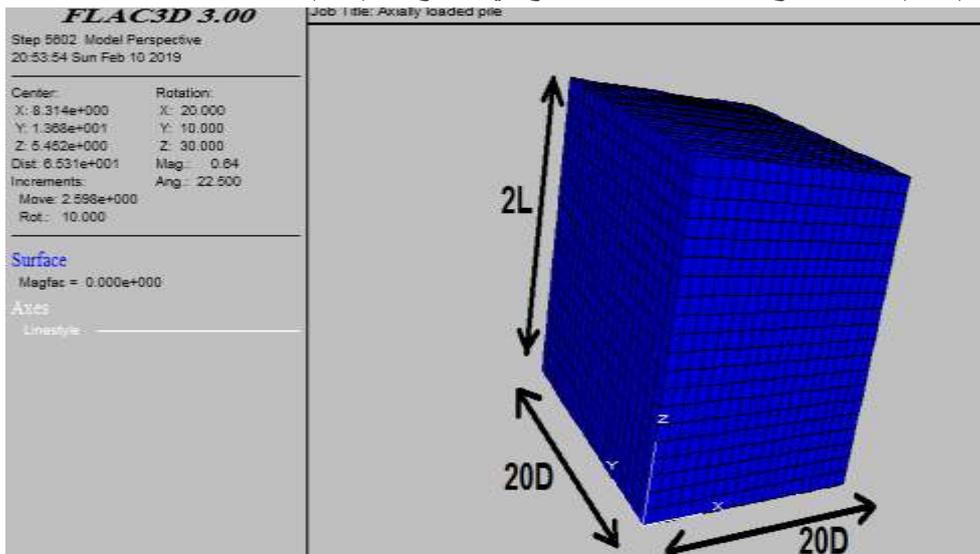
يوضح الشكل (1-2) أبعاد نموذج التربة المستخدم [16] وهي كالتالي:

وفق المحور  $z$  كانت  $z=2L$

وفق المحور  $x$  كانت  $x=20D$

وفق المحور  $y$  كانت  $y=20D$

يبين الشكل (1-3) أبعاد نموذج التربة فراغياً كما توضح في برنامج ال (flac):



الشكل(1-3): أبعاد نموذج التربة حسب المحاور الثلاثة فراغياً.

تم إدخال مواصفات التربة في برنامج Flac3D كالتالي:

- زاوية الاحتكاك الداخلي  $\Phi$  والتماسك  $C$  تم إدخال قيمهم بشكل مباشر .
- معامل يونغ  $E$  ومعامل بواسون  $\nu$  تم إدخالها من خلال إدخال قيم  $K$  و  $G$  التي يتم حسابهم بالعلاقات التالية [19]:

$$k = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (1)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2)$$

$G$ : معامل القص العرضي للتربة.

$E$ : معامل مرونة خطي للتربة.

$\nu$ : معامل بواسون للتربة.

$k$ : معامل مرونة حجمي.

وتم إدخال مواصفات الوتد في البرنامج كالتالي :

- معامل يونغ  $E$  ومعامل بواسون  $\nu$  لمادة الوتد والبيتون تم إدخال قيمها بشكل مباشر .
- تم إدخال طول الوتد ( $L$ ) من خلال إدخال إحداثيات طرفي الوتد.
- باعتبار أن الوتد دائري تم حساب مساحة مقطعه بالعلاقة التالية.

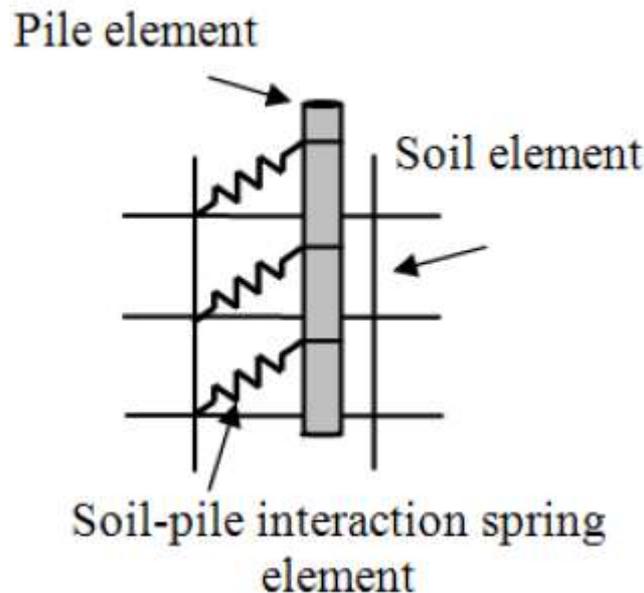
$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

وتم حساب عزوم العطالة للوتد  $I_X, I_Y, I_{XY}$  .

$$I_X = I_Y = \frac{\pi D^4}{64} \quad (4)$$

$$I_{XY} = 2 I_X = 2 I_Y$$

ثم تمت نمذجة الاحتكاك الحاصل بين التربة والوتد بواسطة نوابض شاقولية وأفقية الشكل (4-1) :



الشكل (4-1): نمذجة الاحتكاك بين التربة والوتد بواسطة نوابض.

تعطى قيمة ثوابت صلابتها بالعلاقة التالية [19]:

$$(5) K_S = K_n = \frac{K + \frac{4}{3}G}{\Delta Z_{min}}$$

$\Delta Z_{min}$ : المسافة بين عقدتين متتاليتين في الوتد.

G: معامل القص العرضي للتربة.

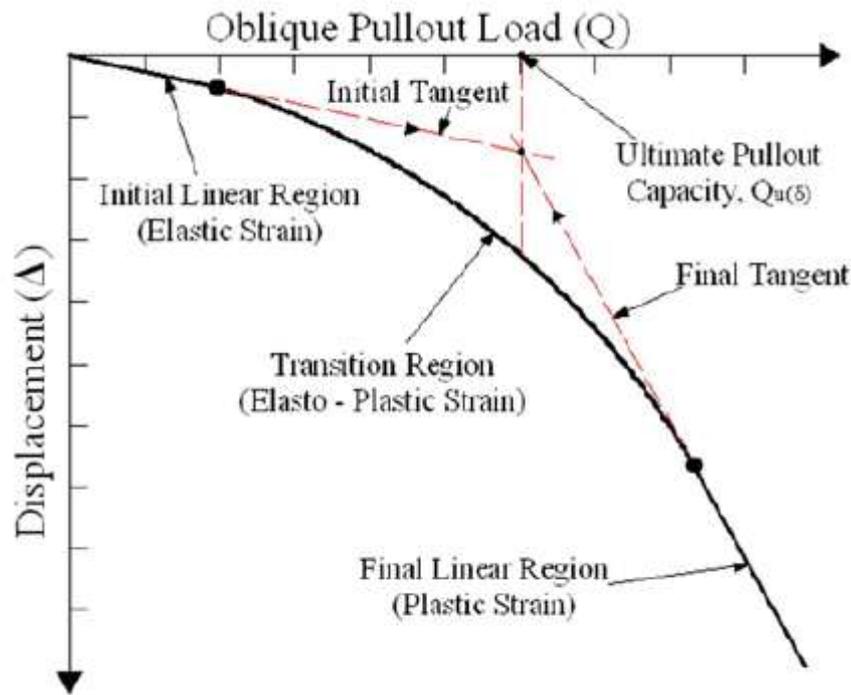
K: ثابت صلابة نابض (الذي يمثل التربة).

وتمت نمذجة الفراغ الحاصل بين التربة وأسفل الوتد نتيجة تعرض الوتد لقوة شد الشكل (5-1) من خلال تفعيل الخيار (CS\_nGap=on) [19] في البرنامج.



الشكل (5-1): الفراغ المتشكل بين أسفل الوتد والتربة.

بعد تطبيق قوة شد متزايدة والحصول على الانتقالات الناتجة عنها بواسطة البرنامج، سنقوم برسم منحنى (قوة الشد - انتقال)، ثم من المنحنى وباستخدام طريقة المماسين [13] سنقوم بتحديد قوة الشد الحدية للوتد المدروس  $Q_u$ ، حيث يتم رسم المماس البدائي في بداية المنطقة الخطية البدائية من المنحنى (Elastic strain) والمماس النهائي في نهاية المنطقة اللدنة النهائية من المنحنى (Plastic strain)، ثم يتم إسقاط نقطة تقاطع المماسين البدائي والنهائي على محور القوة لتحديد قيمة القوة الحدية للوتد المشدود  $Q_u$  الشكل (1-6).



الشكل (1-6): تحديد قدرة التحمل الحدية باستخدام طريقة المماسين.

#### تحقيق الموديل العددي:

بعد الانتهاء من إعداد النموذج العددي وهو عبارة عن وند شاقولي موضوع في حيز من التربة سيتم تحقيق النموذج على حالة حمولة الشد شاقولية مطبقة في مركز الوند وفق محوره الشاقولي. في هذه الحالة تم الاستناد على الدراسة الحقلية (Sowa, 1970) [11] لمعايرة النموذج، حيث تم اعتماد خواص التربة والوند والأبعاد المستخدمة في هذه الدراسة.

#### المعطيات الحقلية:

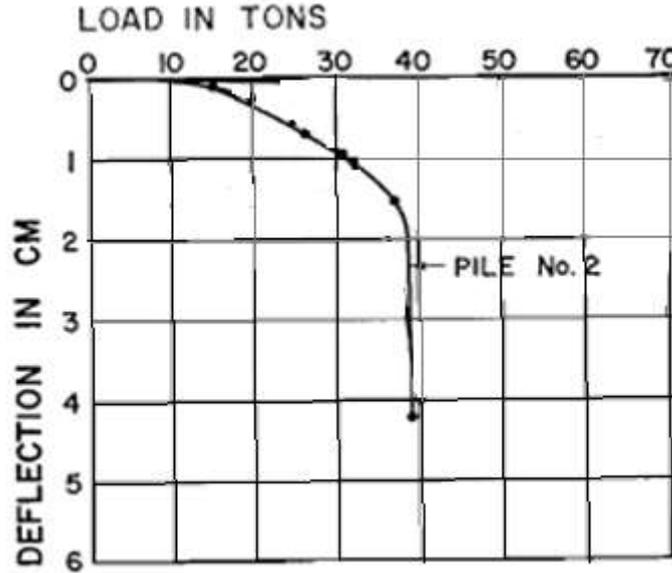
التربة المدروسة هي تربة رملية والموضحة في الجدول (1-1). والوند المستخدم هو وند بيتوني بقطر  $D=0,38m$  وطول  $L=12m$ .

الجدول (1-1): مواصفات التربة

Parameter	Value
Mass density, $\rho(kg/m^3)$	1840
Young's modulus, E (kpa)	15000
Poisson's ratio, $\nu$	0.35
Cohesion, C (Kpa)	0.1
Friction angle, $\phi (^{\circ})$	33

حيث تم تطبيق قوة الشد في الاختبار الحقلية [11] في مركز الوند البيتوني بشكل شاقولي بواسطة جهاز المذكور سابقاً، الذي يتم فيه تطبيق حمولات شد متزايدة، ويتم من خلال الجهاز قراءة الانتقالات الناتجة.

بعد تطبيق قوى شد متزايدة وقياس الانتقالات الحاصلة في قمة الوتد عن سطح التربة للوتد 2، تم رسم المنحني (قوة - انتقال) الذي تم من خلاله تحديد قوة الشد الحدية الشكل (7-1).



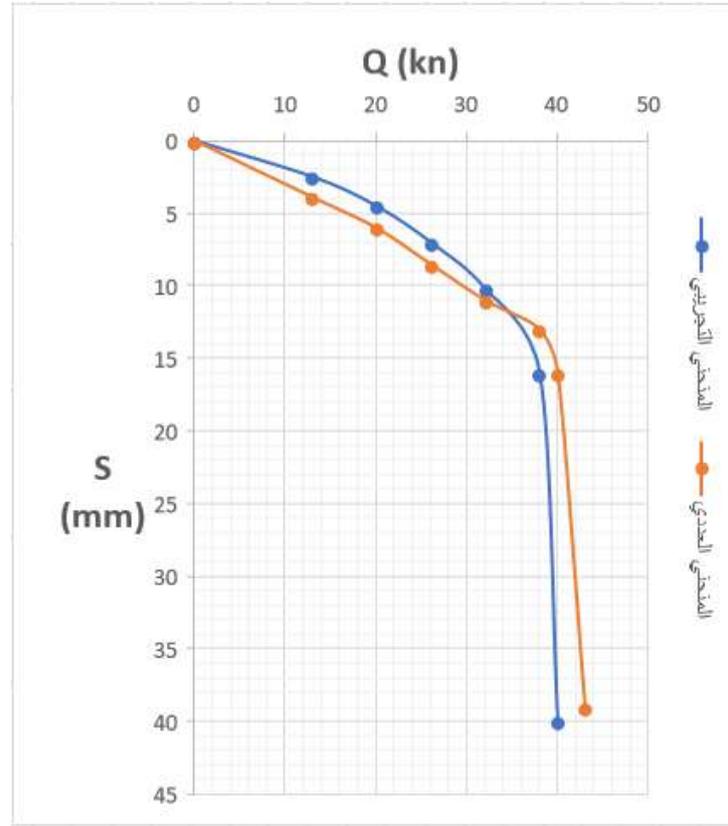
الشكل (7-1): المنحني الحقلي (قوة الشد - انتقال شاقولي) للوتد رقم 2 المدروس في الاختبار الحقلي [11].

ثم في نهاية الدراسة الحقلية تم تحديد قوة الشد الحدية (وهي القوة التي يحدث عندها انفصال الوتد عن التربة) حقلياً بطريقة تقاطع المماسين وكانت قيمتها  $Q_u=390kn$ .

#### النتائج العددية:

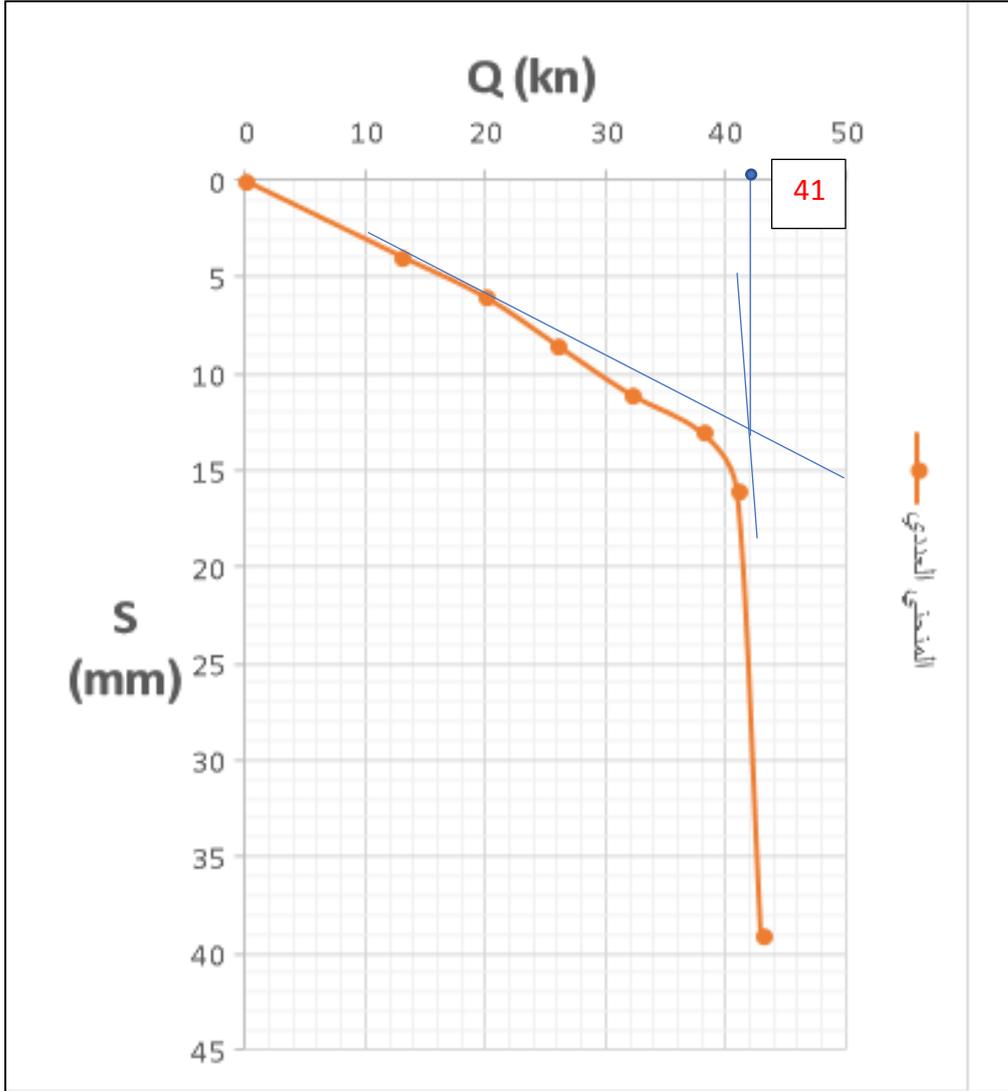
بعد إعداد النموذج بما يتوافق مع المقالة المرجعية، أخذنا نفس المعطيات الحقلية للدراسة الحقلية [11] وأدخلناها في الموديل العددي وأجرينا التحليل ببرنامج (FLAC 3D)، حيث تم تطبيق قوى شد متزايدة تدريجياً (0-130-200-300-400 kn) في مركز الوتد، ثم تم تسجيل الانتقالات التي حصلنا عليها بواسطة برنامج FLAC3D، وهذه الانتقالات هي انتقالات رأس الوتد عن سطح التربة أي تم تسجيل قيمة الانتقال الشاقولي في قمة الوتد. ثم تم رسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين قوى الشد المطبقة والانتقالات الحاصلة في قمة الوتد والمحسوبة بواسطة برنامج (FLAC 3D).

بعد ذلك تمت المقارنة بين نتائج الانتقالات التي حصل عليها (Sowa (1970) [11] ونتائج الانتقالات التي حصلنا عليها في دراستنا العددية بواسطة برنامج (FLAC 3D)، كما يوضح الشكل (8-1):



الشكل (8-1): مقارنة بين نتائج النمذجة العددية الذي حصلنا عليه والمنحني التجريبي الحقلي [11]

في الحالة المدروسة نلاحظ من الشكل (8-1) وجود تقارب كبير بين المنحني العددي والمنحني التجريبي الحقلي وبالتالي فإن هذا النموذج العددي يصلح لتمثيل العلاقة بين القوة المطبقة والانتقال الحاصل في قمة الوتد. وبالتالي أصبح بالإمكان التنبؤ بقوة الشد الحدية التي يحدث عندها انفصال الوتد عن التربة (من نقطة تقاطع المماسين). نقوم بتطبيق طريقة المماسين [13] على المنحني العددي الذي حصلنا عليه، كما يبين الشكل (9-1):



الشكل (1-9): تحديد قوة الشد الحدية من المنحني العددي باستخدام طريقة المماسين.

نلاحظ من الشكل بعد رسم المماسين البدائي والنهائي أن المماسين يتقاطعان في نقطة، وبإسقاط هذه النقطة على محور القوة Q تكون قيمة قوة الشد الحدية 410kn، بينما كانت قيمة قوة الشد الحدية في الدراسة الحقلية 390kn، حيث الفرق بين القيمتين كان بنسبة 5%.

وعند تعويض المعطيات الحقلية بالعلاقة التحليلية المقترحة من قبل (B. Das (1983) [21]:

$$T_{un} = \int_0^L f u . p . dz$$

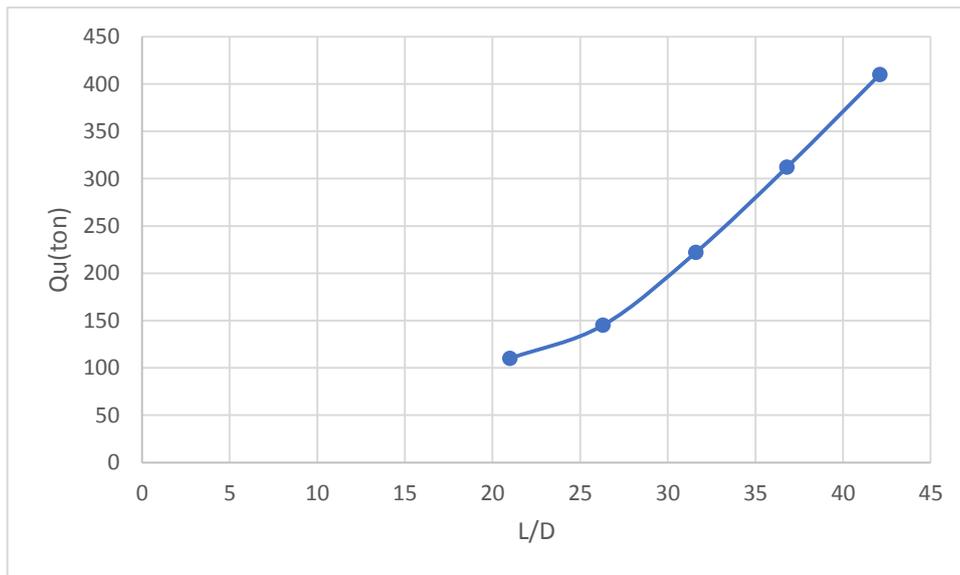
كانت قيمة قدرة التحمل الحدية على الشد  $Q_u = 588,7 \text{ kn}$ ، وكان الفرق بين هذه القيمة والقيمة الحقلية بنسبة 51%. نستنتج مما سبق وجود تقارب كبير بين نتائج النموذج العددي المقترح الخاص ببحثنا ونتائج الدراسة الحقلية المستخدمة في المعايير، بينما كانت نتيجة العلاقة التحليلية بعيدة عن القيم الحقلية الواقعية. بعد تحقيق النموذج قمنا بإجراء دراسة بارامترية لبعض البارامترات المؤثرة على قدرة تحمل الوتد في الحالة المدروسة.

## دراسة تأثير تغير النسبة (L/D) على قدرة تحمل الوتد على الشد:

من أجل دراسة تأثير النسبة (L/D) حيث (L طول الوتد المدروس، D قطر الوتد) على قدرة تحمل الوتد الحدية على الشد قمنا باستخدام نموذج لوتد بيتوني شاقولي معرض لقوة شد شاقولية وفق محور الوتد، بقطر  $D=0.38m$  وتم تغيير الطول وفق القيم التالية  $L=(8,10,12,14,16)m$  حيث تم إيجاد قيم قوى الشد الحدية للوتد  $Q_u$  من أجل قيم مختلفة للنسبة L/D مع تثبيت البارامترات الأخرى حيث مواصفات التربة موضحة بالجدول (1-1) والوتد المستخدم هو وتد بيتوني بقطر  $D=0,38m$  وطول  $L=12m$ ، [11] فكانت القيم كالتالي:

$$L/D=(21,26.3,31.6,36.8,42.1)$$

ثم رسمنا منحنى (القوة - انتقال) من أجل كل نسبة L/D، وقمنا بحساب قيمة قوة الشد الحدية  $Q_u$  ضمن المنحنى (القوة-انتقال) باستخدام طريقة المماسين [13] من أجل النسب المختلفة كما في المثال النموذجي المذكور سابقاً. بعد تحديد القوة الحدية الشادة للوتد لكل نسبة من النسب سيتم رسم منحنى تغير قوة الشد الحدية  $Q_u$  بتغير النسبة L/D للوتد وذلك من أجل القيم  $L/D=(21,26.3,31.6,36.8,42.1)$  كما في الشكل (1-10):



الشكل(1-10):تأثير تغير النسبة L/D على قوة الشد الحدية.

ويلاحظ من الشكل (1-10) أن قدرة تحمل الوتد على الشد تزداد بوضوح مع زيادة النسبة L/D حيث كانت قدرة تحمل الوتد عند النسبة (22) تقدر بـ t (110) في حين أصبحت قيمتها عند زيادة النسبة إلى (43) هي t (410) أي أن قدرة التحمل ازدادت بنسبة (272%) عند زيادة النسبة L/D بمقدار (133%). حيث أن بازدياد طول الوتد سيزداد سطح الاحتكاك بين التربة والوتد وبالتالي ستزداد قوة الاحتكاك المعاكس التي هي قوة مقاومة لقوة الشد، مما يفسر ازدياد قوة الشد الحدية المطلوبة لنزع الوتد بازدياد طوله.

## دراسة تأثير تغير تماسك التربة (C) على قدرة تحمل الوتد على الشد:

من أجل دراسة تأثير تماسك التربة (c) على قدرة تحمل الوتد على الشد قمنا بتثبيت البارامترات الأخرى المتعلقة بالتربة والوتد.

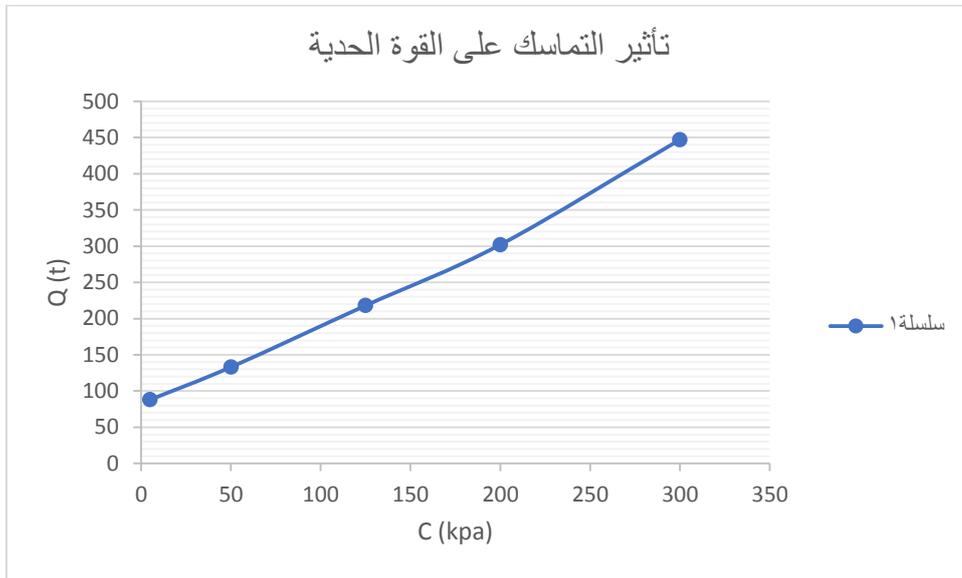
حيث قمنا باستخدام نموذج لوتد بيتوني شاقولي بقطر  $D=0,38m$  وطول  $L=12m$ .

ثم قمنا بتغيير قيم التماسك للتربة المدروسة وإيجاد قيم قوى الشد الحدية وفق المحور الشاقولي للوتد من أجل القيم المختلفة للتماسك حيث كانت القيم:

$$c = (5,50,125,200,300) \text{ kpa}$$

حيث رسمنا منحنى القوة - انتقال من أجل كل قيمة للتماسك (c)، ثم قمنا بحساب قيمة قوة الشد الحدية من المنحنى القوة - انتقال باستخدام طريقة المماسين من أجل القيم المختلفة للتماسك كما في المثال النموذجي المذكور سابقاً.

بعد تحديد القوة الحدية الشادة للوتد لكل قيمة من القيم سيتم رسم منحنى تغير قوة الشد الحدية بتغير تماسك التربة (c) وذلك من أجل  $c=(5,50,125,200,300)kpa$  كما في الشكل (1-11):

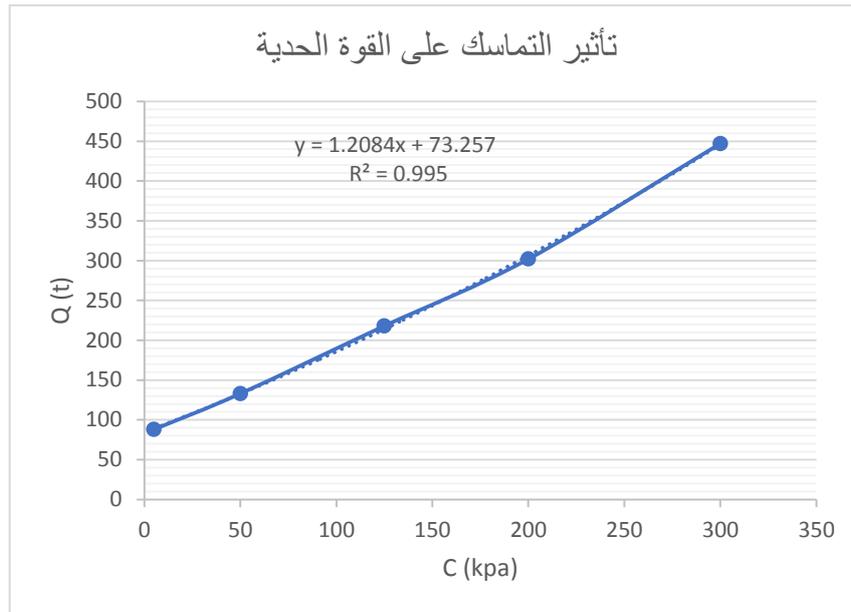


الشكل (1-11): تأثير تغير تماسك التربة المدروسة على قوة الشد الحدية.

ويلاحظ من الشكل (1-11) أن قدرة تحمل الوتد على الشد تزداد بوضوح مع زيادة تماسك التربة المدروسة (c) حيث كانت قدرة تحمل الوتد عند القيمة  $c=5kpa$  للتماسك تقدر بـ (88)t في حين أصبحت قيمتها عند زيادة التماسك إلى  $c=300kpa$  هي (447) .

تفسر هذه النتيجة بأنه بزيادة تماسك التربة تزداد قوى الروابط بين حبيباتها وبالتالي تزداد قوى الاحتكاك المعاكس الصافية  $T_{un}$  بين التربة والوتد والتي تقاوم قوة الشد المطبقة عليه والتي تتناسب طردياً مع قيمة التماسك، مما يؤدي إلى زيادة القوة اللازمة لسحب الوتد من التربة.

قمنا بتحديد العلاقة بين التماسك وقوة الشد الحدية باستخدام برنامج Excel، حيث يمثل الشكل (2-5) منحنى (التماسك - قوة الشد الحدية) الفعلي.



الشكل (12-1): منحنى (التماسك - قوة الشد الحديدية).

وبين الشكل (12-1) أن قوة الشد الحديدية تزداد بشكل خطي مع زيادة التماسك  $C$ ، وبالتالي يمكن الاعتماد على المعادلة الخطية التقريبية المحسوبة للتنبؤ بقدرة تحمل الوتد على الشد للحالة المدروسة.

دراسة تأثير تغيير زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ( $\Phi$ ) على قدرة تحمل الوتد على الشد:

من أجل دراسة تأثير زاوية احتكاك التربة ( $\Phi$ ) على قدرة تحمل الوتد على الشد وفق محور الوتد الشاقولي قمنا بتثبيت البارامترات الأخرى المتعلقة بالتربة والوتد [11].

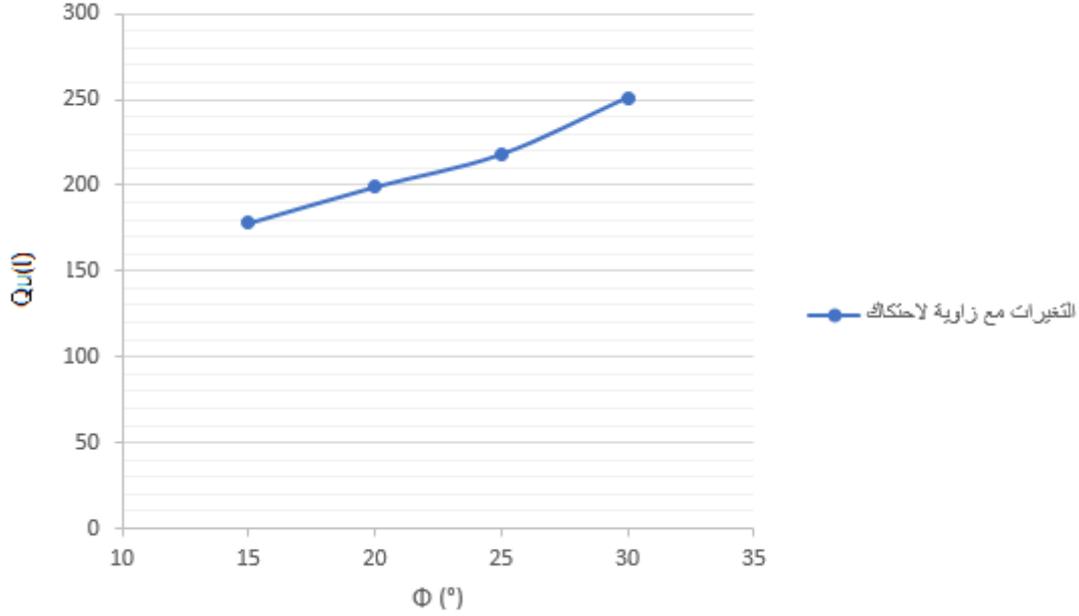
حيث قمنا باستخدام نموذج لوتد بينوني شاقولي بقطر  $D=0,38m$  وطول  $L=12m$ .

ثم قمنا بتغيير قيم زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المدروسة وإيجاد قيم قوى الشد الحديدية المطبقة وفق المحور الشاقولي للوتد من أجل القيم المختلفة لزاوية الاحتكاك حيث كانت القيم:

$\Phi=(15,20,25,30)^\circ$ ، حيث رسمنا منحنى القوة - انتقال من أجل كل قيمة ل  $\Phi$ ، ثم قمنا بتحديد قوة الشد الحديدية من أجل جميع القيم كما ذكرنا في البارامترات السابقة.

بعد تحديد قوة الشد الحديدية  $Q_u$  للوتد لكل قيمة من القيم سيتم رسم منحنى تغير قوة الشد الحديدية بتغير زاوية الاحتكاك للتربة ( $\Phi$ ) وذلك من أجل  $\Phi=(15,20,25,30)^\circ$  كما في الشكل (13-1):

## تأثير زاوية الاحتكاك على القوة الحديدية



الشكل (13-1): تأثير تغير زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المدروسة على قوة الشد الحديدية.

ويلاحظ من الشكل (13-1) أن قدرة تحمل الوتد على الشد تزداد بوضوح مع قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، حيث كانت قدرة تحمل الوتد الحديدية  $Q_u$  عند القيمة  $\Phi=15^\circ$  تساوي  $Q_u=178t$ ، في حين أصبحت قيمتها عند زيادة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة إلى  $\Phi=30^\circ$  تساوي  $Q_u=251t$ .

حيث أنه زيادة زاوية الاحتكاك ينتج عنه زيادة قوى الاحتكاك الناتجة بين حبيبات التربة مما ينعكس على قوى الاحتكاك الناتجة بين التربة والوتد، نتيجة لذلك تزداد قوى الشد الحديدية اللازمة بزيادة زاوية الاحتكاك الداخلي. باستخدام برنامج Excel حصلنا على معادلة خطية تقريبية هي الأكثر تمثيلاً للعلاقة  $(Q - \Phi)$ .

$$Q = 4.70 \Phi + 104.4 \quad (6)$$

وبالتالي يمكن الاعتماد على المعادلة الخطية التقريبية المحسوبة للتنبؤ بقدرة تحمل الوتد على الشد للحالة المدروسة.

## الاستنتاجات والتوصيات:

## الاستنتاجات:

تتأثر قدرة تحمل الوتد بشكل أساسي بما يلي:

- حيث تزداد قدرة تحمل الوتد الحديدية على الشد بزيادة النسبة  $(L/D)$  للوتد.
- تزداد قدرة تحمل الوتد الحديدية على الشد بزيادة قيمة تماسك التربة  $(C)$  المحيطة بالوتد.
- تزداد قدرة تحمل الوتد الحديدية على الشد بزيادة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي  $(\phi)$  للتربة المحيطة بالوتد.

## التوصيات:

- الاستفادة من النموذج المقترح للتنبؤ بقدرة التحمل الحدية للأوتاد المشدودة بعد معرفة أبعاد الوتد المقترح وخواصه بالإضافة إلى خواص التربة المحيطة به.
- الأخذ بعين الاعتبار تأثير طريقة إدخال الوتد المدروس في التربة على قيمة قدرة تحمل الوتد الحدية على الشد.
- دراسة حالة التربة الغير متجانسة (منطبقة).
- دراسة تأثير المياه الجوفية الذي لم يؤخذ بعين الاعتبار في الدراسة الحالية.

## References:

- [1] Awad And Ayoub(1976): 'Ultimate Uplift Capacity of Vertical and Inclined Piles in Cohesionless Soils.', Proc.5th conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,Budafest, pp. 221-226
- [2] hattopadhyay, B.C. And Pise, P.J.(1986): 'Axial Uplift Capacity of Inclined Piles', Indian Geotechnical Journal Vol.16, No. 3, pp.198-213.
- [3] ried Model Piles in Sand', Journal of GTE Div.,ASCE, Vol.10, pp.1091-1094.
- [4] Hanna, A.M. And Afram, A.(1986): 'Pullout Capacity of Single Batter Piles in Sand', Canadian Geotechnical Journal, Vol.23, No.3, pp.387-392.
- [5] Ismael, N.F. And Klym, T.W.(1979): 'Uplift and Bearing Capacity of short piers in sand', Journal of GTE Div., ASCE, Vol.105, No.5, pp.579-594.
- [6] Meyerhof, G.G. And Adams, J.I.(1968): 'The ultimate uplift capacity of foundation', Canadian Geotechnical Journal, Vol.5, No.4, pp.225-244.
- [7] K.Rajagopal And V.Srihari(1998): 'Experimental Investigations on Pullout Capacity of Vertical Anchors', Indian Geotechnical Journal, Vol.28(2), pp147-166.
- [8] Shanker, K., Basudhar, P. K. And Patra N. R.(2006): 'Uplift Capacity of Single Piles Embedded in Sand', IGJ., Vol. 36. No. 4, pp.334-347.
- [9] B.V.R Sharma And P.J Pise.(1994): 'Uplift Capacity of Anchor Piles in Sand Under Axial Pulling Loads', Indian Geotechnical Journal, Vol.24 (3), pp181-202.
- [10] ABAQUS Inc. ABAQUS Documentation. Vol. 6.6.1. Internet: 2006, <http://abaqus.custhelp.com/cgi-bin/abaqus>.
- [11] V .A. Sowa (1970): 'Pulling capacity of concrete cast in situ bored piles', Canadian Geotechnical Journal, Vol7.
- [12]Chung & S.Bang (2003): 'Field tests on pullout loading capacity of suction piles in clay', OMAE-2003-37016,cancun,Mexico.
- [13] Sunil Bharadwaj and S .K .Singh (2013): 'Pullout capacity of model micropiles under oblique loads', proceedings of Indian Geotechnical Conference.
- [14] Ashraf Nazir & Ahmed Nasr(2012): 'Pullout capacity of batter pile in sand', structural Engineering, Tanta university, Tanta, Egypt.
- [15] Adel Hanna, Mohab Sabry (2002): ' Trends in pullout behavior of batter piles in sand'.
- [16].Wenjie yan &Fuping Gao (2010): ' Numerical analysis of interfacial shear degradation effects on axial uplift bearing capacity of tension pile' ,Key Laboratory for Hydrodynamics and Ocean Engineering, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China.
- [17] Analysis of Driven pile setup with Abaqus , Abaqus Technology Brief.
- [18] He J. Testing study on anti-draw bearing properties of cast-in-place rock-socked pile. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2004; 23(2): 315-319.

- [19]AISC. Manual of Steel Construction, Eighth Edition. Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc., 1980.
- [20] Beneito, C. and Ph. Gotteland. "Three-Dimensional Numerical Modeling of Geosynthetics Mechanical Behavior," in *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics* (Proceedings of the Second International FLAC Symposium on Numerical Modeling in Geomechanics, Lyon, France ,October 2001).
- [21] Das ,B. *Advanced soil Michanics* McGraw-Hill Book Company New York 1982.
- 31-29[22]D. Billaux, X. Rachez, C. Detournay and R. Hart, Eds. Lisse: Balkema ,2001.