

تقدير قدرة التحمل الحديدية لوتد بيتوني مفرد في تربة غضارية

الدكتور رامي العبدہ (1)

□ الملخص □

يمثل هذا البحث محاولة لإنشاء قاعدة معطيات أولية عن تجارب التحميل الستاتيكية للأوتاد البيتونية المنفذة في الترب الغضارية وذلك عن طريق تحليل عدد كبير من منحنيات تجارب التحميل العددية المجرأة على البرنامج العددي ABAQUS بعد معايرته على تجربة تحميل حقلية، وإجراء دراسة تغير قيمة التحمل الحديدية للوتد بدلالة عدد من البارامترات الأساسية للتربة مثل معامل يونغ، والتماسك وغيرها، وبناء على النتائج تم اقتراح علاقة تجريبية أولية لحساب قدرة التحمل الحديدية للوتد في تربة غضارية واقتراح معادلة لرسم منحنى (الهبوط- الحمولة) للتجربة بمعرفة أحد بارامترات التربة السابقة الذكر، كما تم مقارنة النتائج مع الطرق الشائعة المعمول بها لتقدير الحمولة الحديدية للوتد، وتبين أن العلاقات المقترحة تقدم طريقة سهلة وبسيطة لرسم منحنى التحميل وتقدير الحمولة الحديدية للوتد ويمكن اعتبارها مقدمة للمتابعة في تطوير البحث ليشمل أنواعاً أخرى من الترب.

الكلمات المفتاحية: وتد بيتوني، تربة غضارية، طريقة العناصر المنتهية، قدرة تحمل الوتد، تجربة التحميل الستاتيكية.

(1) مدرس- قسم الهندسة الجيوتكنيكية- كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

Prediction of the Ultimate Load Capacity of a Single Concrete Pile in Clayey Soil

Dr. Rami Alabdeh ⁽¹⁾

□ ABSTRACT □

This research is an attempt to establish a preliminary database on the experiments of static loading on the concrete piles applied in clayey soils. The research was based on the analysis of a large number of curves of the numerical load experiments on the ABAQUS numerical program after calibration on a field experiment, and study of changing the value of parameters such as Yong coefficient, cohesion and others. Based on the results, a preliminary experimental relationship was proposed to calculate the ultimate load capacity of the pile in clayey soil and suggested an equation for the regression curve of the experiment with one of the above soil parameters. The results were compared with the common methods used to estimate the ultimate load of the pile. The proposed equations offer easy and simple method to draw the load curve and estimate the ultimate load of the pile and can be considered as an introduction to follow-up research development to include other types of soils.

Key words: Concrete Pile, Clayey Soil, Finite Element Method (FEM), Pile Load Capacity, Static Load Test.

*Assistant Professor - Department of Geotechnical Engineering - Faculty of Civil Engineering -Tishreen University – Lattakia– Syria.

1-مقدمة:

لازال التأسيس على الأوتاد يكتسب كل يوم أهمية جديدة ويلقى مزيداً من الاهتمام والإقبال من الجهات المصممة في مجال الهندسة الجيوتكنيكية نظراً لأن تنفيذه لا يسبب الكثير من الإرباك في الورشة ونظراً إلى كفاءته العالية كبديل مناسب لحل المشكلات التقنية والتصميمية التي تصادف الأساسات السطحية. تكاد الدراسات في هذا المجال لا تتوقف لأن السلوك الحقيقي للوتد مرتبط بالكثير من البارامترات والمؤثرات التي لا يمكن أن تدرس كلها مجتمعة، لذلك يبقى مجال الأوتاد مجالاً رحباً للبحث العلمي المستجد وإدخال أفكار وموضوعات وتعديلات جديدة عليه.

يقاوم الوتد قوة الضغط الحدية Q_u المطبقة عليه من خلال احتكاك سطحه الجانبي بالتربة المحيطة به Q_s وعن طريق رد فعل التربة على سطح استناد قدم الوتد Q_p . يوجد العديد من الطرق النظرية لتحديد كل من الاحتكاك الجانبي ورد فعل التربة عند قدم الوتد مثل مايرهوف وفيسك وجانبو وغيرها، لكن نظراً لأن العلاقات الرياضية لهذه الطرق تحتوي على معاملات يصعب تحديد قيمها الحقيقية (الفعلية) بدقة كافية لذلك فإنه لا يجوز الاعتماد على نتائج هذه العلاقات وحدها ويتحتم التحقق من هذه النتائج بإجراء تجارب تحميل في الموقع على بعض الأوتاد.

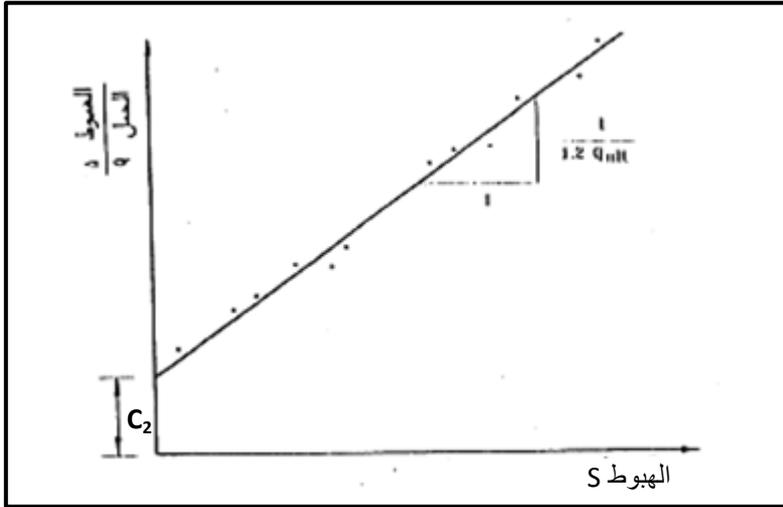
تجربة تحميل الأوتاد:

إن تجربة تحميل الأوتاد هي تجربة حقلية مهمتها مراقبة سلوك الوتد المنفذ في الموقع تحت تأثير تحميل حقيقي عليه وتقدير أقصى حمولة يمكن أن يتحملها الوتد دون أن ينهار. يمكن إجراء هذه التجربة على أوتاد الاحتكاك وأوتاد الارتكاز على حد سواء بعد مرور مدة زمنية كافية على تنفيذها حتى تستعيد التربة استقرارها الأولي. يشمل تجهيز التجربة الأمور الآتية: تجهيز الوتد، تجهيز الأرض المحيطة بالوتد، تجهيز وسيلة رد الفعل، تجهيز وسيلة نقل الأحمال، تجهيز وسيلة قراءة الهبوط [10]. يتم أثناء التجربة تشكيل جدول بالحمولات المطبقة على رأس الوتد والهبوطات المقابلة لها وبعدها نفرغ هذه البيانات بمخطط (الحمولة - الهبوط) ليتم تقييمها بإحدى طرق التقييم لتحديد الحمولة الحدية للوتد Q_u [9].

طرق التقييم لتحديد الحمولة الحديدية للوتد:

يوجد طرق متعددة لتقييم منحني (الحمولة-الهبوط) واستنتاج قيمة الحمولة الحديدية للأوتاد [3,4,5,6]. سنعتمد في بحثنا من بين هذه الطرق على الطريقتين الأكثر شيوعاً واستخداماً وهما طريقة شين (Chin) المعدلة [3] وطريقة دافيسون (Davisson) [4] من أجل مقارنة نتائجهما مع نتائج العلاقة التجريبية التي سنقترحها بعد الاستقراء العددي لتجارب التحميل المجراة بواسطة برنامج ABAQUS.

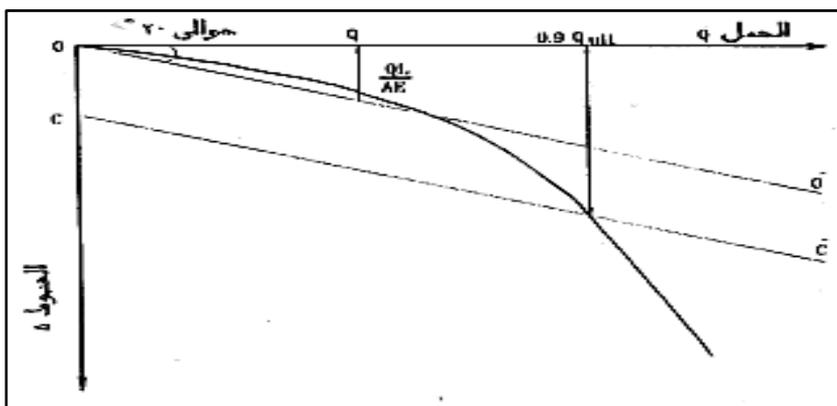
اقترح شين (Chin) إعادة رسم العلاقة بين الهبوط للوتد S ونسبة الهبوط إلى الحمل المناظر (S/Q) كما في الشكل (1) [3]، وتمثل هذه العلاقة عادة خطأً مستقيماً باستثناء القيمة المناظرة لبدايات التجربة ويحدد الحمل الأقصى (الحمولة الحديدية) من ميل الخط الناتج بالعلاقة $Q_u = 1/1.2 C_1$ ، كما اقترح شين المعادلة الآتية لإعادة رسم منحني (الحمولة-الهبوط) $S/Q = C_1 S + C_2$ حيث C_1 يمثل ميل الخط الناتج من الشكل (1) و C_2 يمثل نقطة تقاطع هذا الخط مع المحور الشاقولي في الشكل (1).



الشكل (1): تعيين الحمولة الحديدية للوتد بطريقة تشن المعدلة.

أما دافيسون (Davisson) فقد قام باقتراح طريقة لتحديد الحمولة الحديدية بالاعتماد على منحنى التحميل حيث ترسم العلاقة في هذه الطريقة بين الحمل والهبوط كما في الشكل

(2) [4] مع اختيار مقياس رسم مناسب بحيث يكون الخط OO' الذي يمثل العلاقة بين الحمل والانتضاغ لوتد حر مرن محمل محورياً طوله L ومساحة مقطعه A ومعامل مرونة مادته E يصنع زاوية 20 درجة مع محور الحمولة. تؤخذ المسافة OC مساوية $(d*0.08+3.8)$ mm حيث d : قطر الوتد مقدراً بالـ cm ومن ثم يرسم CC' موازياً لـ OO' . بحسب دافيسون: يحدد تقاطع الخط CC' مع منحنى التحميل 90% من الحمولة الحديدية Q_u .



الشكل (2): تحديد الحمولة الحديدية للوتد بطريقة دافيسون

إن تحديد قدرة تحمل الوتد الحديدية من تجارب التحميل هو وحده الذي يؤكد عملياً صحة المعادلات والصيغ الجاهزة المستخدمة في حساب قدرة التحمل المسموح بها للوتد، لكن تبقى هذه التجارب عالية الكلفة وتستلزم تجهيزات ومعدات خاصة ومريكة فضلاً عن الوقت والجهد المصروفين والمحتسب من وقت المشروع مما يدعو إلى البحث عن موارد جديدة تشكل بديلاً سريعاً لهذه التجارب دون الاستغناء عنها.

إحدى هذه البدائل المقترحة هي تحليل ودراسة نتائج عدد كبير من تجارب التحميل وربطها بعلاقات مناسبة وذلك بهدف التوصل إلى صيغ رياضية مقبولة يمكن استعمالها في التصميم ومقارنة نتائجها مع الطرق المعمول بها في هذا المجال لتشكل رديفاً لهذه الطرق.

2-موضوع البحث وأهدافه:

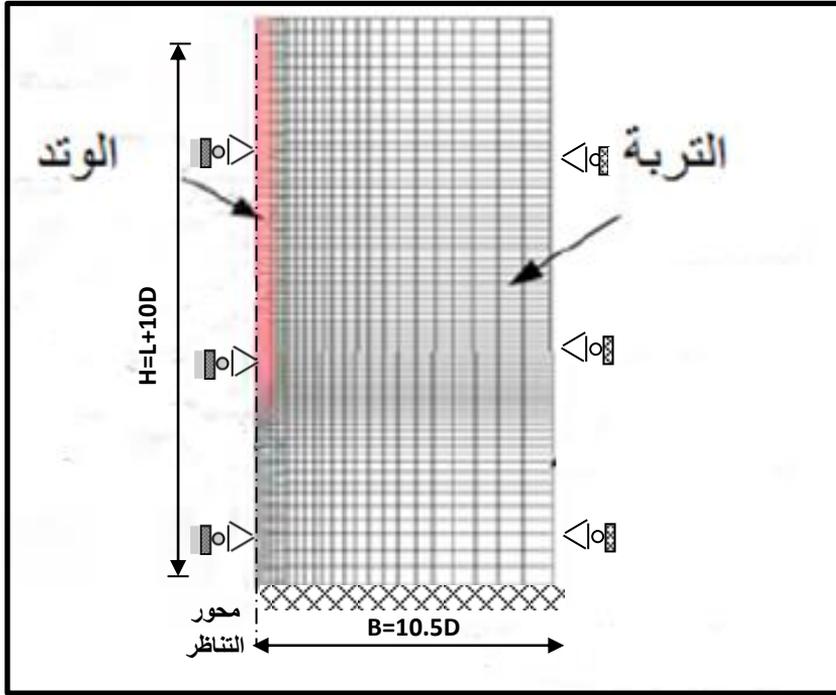
يتناول هذا البحث دراسة تجارب التحميل الستاتيكية على الأوتاد البيتونية في الترب الغضارية مع دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على نتائج هذه التجارب وقدرة التحمل الحديدية لهذه الأوتاد. يعتمد هذا البحث على إجراء عدد كبير من تجارب التحميل باستخدام برنامج الحساب المتطور بطريقة العناصر المنتهية ABAQUS ومن ثم تحليل نتائج هذه التجارب واستنتاج علاقة تجريبية بسيطة وسهلة الاستخدام يمكن بواسطتها رسم منحنى التحميل وتقدير الحمولة الحديدية لوتد بيتوني منفذ في تربة غضارية دون الحاجة لإجراء تجارب تحميل حقلية مما يوفر الكلفة المادية والزمنية العالية للتجارب الحقلية.

3- مواد وطرق البحث:

تم الاعتماد في عذا البحث على المنهج التحليلي المقارن حيث تم استخدام طريقة العناصر المنتهية لنمذجة تجربة التحميل الستاتيكية لوتد منفذ في تربة غضارية. بداية تم وضع موديل عددي مناسب للمسألة يعتمد على نمذجة كل من الحمولة المطبقة والوتد والترية المحيطة به وتم إدخاله في برنامج الحساب بطريقة العناصر المنتهية ABAQUS . بعد تحقيق الموديل العددي على تجربة تحميل حقلية تم الحصول عليها بنتيجة البحث المرجعي تم استخدام هذا الموديل لإجراء أكثر من مائة وستين تجربة تحميل حاسوبية مجراة على برنامج ABAQUS وذلك على أوتاد بنسب مختلفة لطول الوتد إلى قطره ومن أجل قيم مختلفة لبارامترات التربة المحيطة بالوتد. بعد إجراء التجارب وتحليل نتائجها تم التوصل إلى اقتراح علاقة سهلة الاستخدام يمكن بواسطتها رسم منحنى التحميل وتقدير الحمولة الحديدية للوتد. في النهاية، تم مقارنة الطريقة المقترحة مع طريقتين من الطرق الشائعة المستخدمة لتقدير الحمولة الحديدية للأوتاد وتبين واقعية وفائدة استخدام الطريقة والعلاقات التي تم التوصل إليها بنتيجة البحث.

4- الموديل العددي:

يبين الشكل (3) الموديل العددي المستخدم في البحث. تم اختيار الأبعاد الخارجية للموديل (BxH) كبيرة بشكل كافٍ لتغطية منطقة توزع الإجهادات من جهة ولتلافي تأثير حدود الموديل على نتائج الحساب من جهة أخرى، ولذلك تم اعتماد أبعاد الموديل (BxH = 10.5D x L+10D) حيث D و L هما قطر الوند وطوله على التوالي.



الشكل (3): الموديل العددي المستخدم

تعتمد الشروط الحدودية الطرفية على استخدام مساند متحركة شاقولياً (السماح بالانتقال الشاقولي ومنع الانتقال الأفقي) على الحدين الشاقوليين اليميني واليساري لشبكة العناصر المحدودة، مع افتراض وجود وثاقعة عند الحد السفلي لشبكة العناصر المحدودة (الانتقال معدوم بالاتجاهين الأفقي والشاقولي). تم الحساب باعتبار سلوك الوند خطياً مرناً (Linear Elastic)، في حين تم استخدام قانون مور-كولومب (Mohr-Coulomb) المرن-اللدن لتمثيل سلوك التربة [7]. وباعتبار حالة التناظر الدوراني للمسألة حول

المحور الشاقولي المار من مركز الوند فقد تم تقسيم الوند والتربة المحيطة به باستخدام عناصر محددة رباعية الأضلاع متناظرة محورياً (Axisymmetric Quadrilateral Finite Elements). تم تقسيم الوند باستخدام شبكة عناصر محددة ذات تباعد منتظم لشبكة العناصر المستخدمة، أما بالنسبة للتربة ومن أجل مراعاة تركيز الإجهادات بالقرب من الوند فقد تم تكثيف تقسيم التربة في المنطقة المجاورة للوند بينما تكون كثافة التقسيم أقل نوعاً ما كلما ابتعدنا عن الوند [1,11].

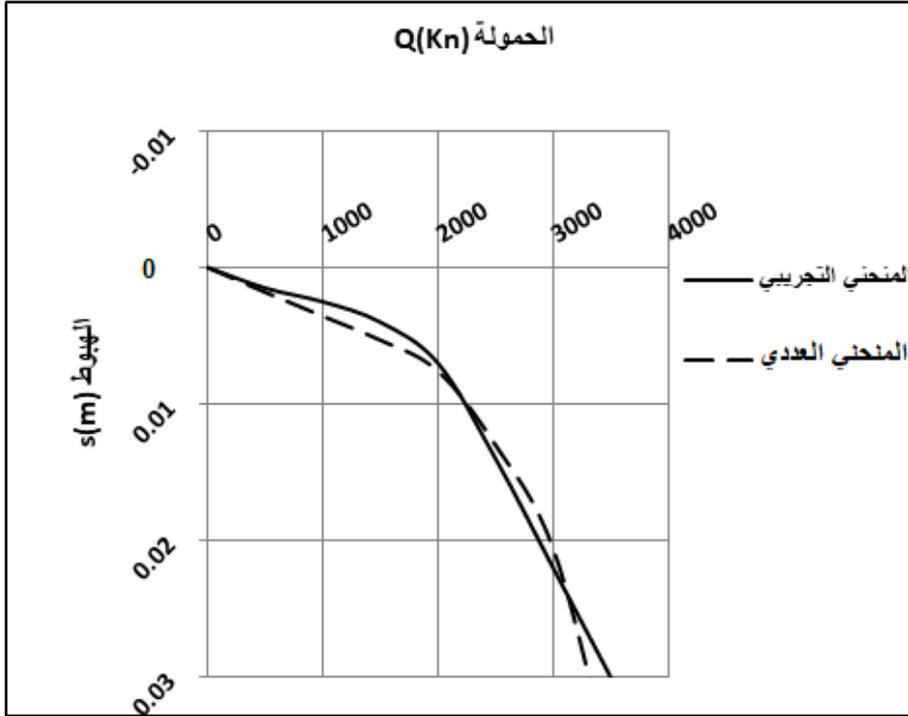
تحقيق الموديل العددي:

بعد وضع الموديل العددي تم القيام بتحقيقه على تجربة تحميل حقلية تم الحصول عليها بنتيجة البحث المرجعي [11]. أجريت التجربة على أحد الأوتاد المستخدمة في تأسيس جسر Alzay في ألمانيا. طول الوند 9.5m وقطره 1.3m ويخترق طبقة من الغضار القاسي. يبين الجدول (1) خصائص كل من الوند وتربة الموقع الغضارية والتي تم إدخالها كما هي ضمن برنامج الحساب العددي ABAQUS.

الجدول (1): مواصفات التربة والوند لتجربة المعايرة الحقلية

C (kPa)	ϕ (°)	μ	E (MPa)	γ (kN/m ³)	الخاصية
20	20	0.3	60	20	التربة
-	-	0.15	20000	25	الوند

أجريت التجربة بتطبيق حمولات متزايدة على رأس الوند مماثلة لتلك المطبقة في التجربة الحقلية وتم حساب الهبوط الشاقولي للوند من أجل كل قيمة للحمولة وبالتالي رسم منحنى (الحمولة - الهبوط). يبين الشكل (4) مقارنة بين منحنى التحميل الحقلية والمنحنى العددي حيث نلاحظ وجود تقارباً كبيراً بين المنحنيين وبالتالي يمكن القول أن الموديل العددي المقترح محقق ويمكن استخدامه لتوليد تجارب تحميل عددية فيما يلي من البحث.



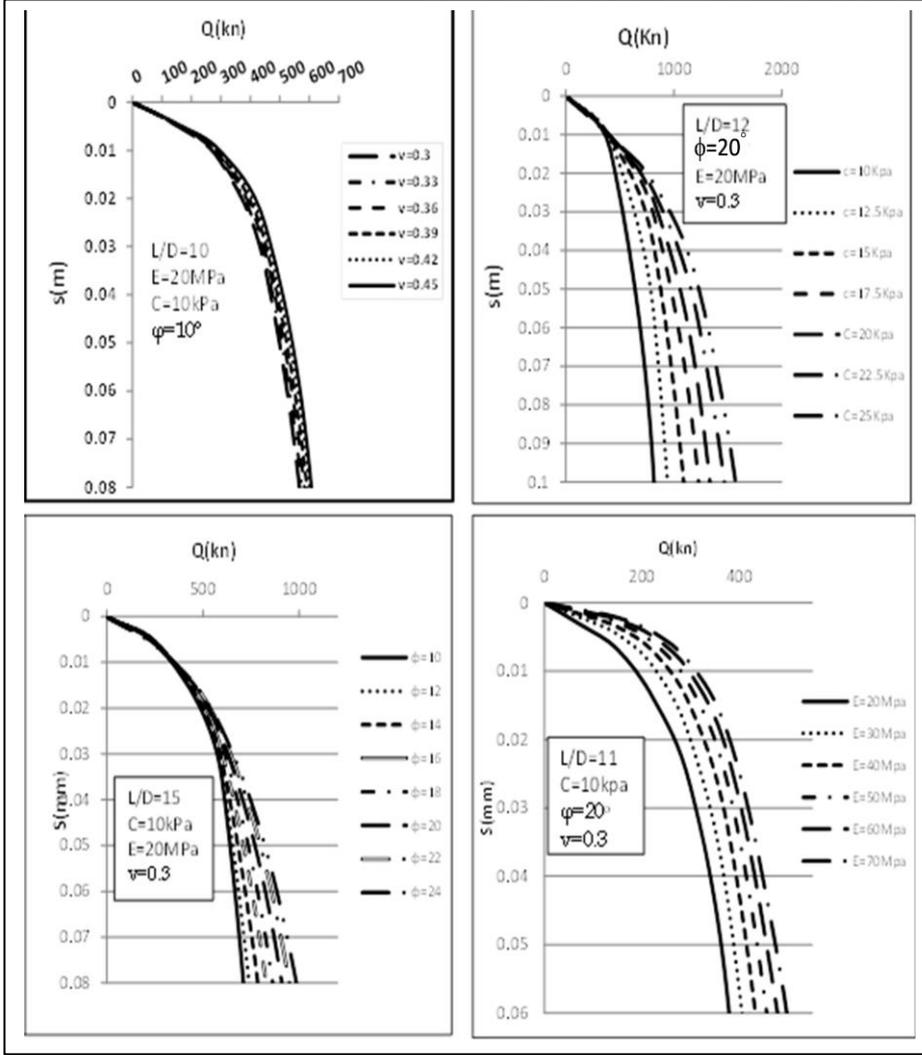
الشكل (4): مقارنة بين منحنىي(الحمولة-الهبوط) التجريبي الحقلي والعددي

5- النتائج والمناقشة:

5-1 تأثير بارامترات التربة على منحنى التحميل:

لمعرفة تأثير كل من بارامترات التربة الأساسية (C , ϕ , μ , E) المستخدمة في قانون مور-كولومب لوصف سلوك التربة حول الوتد (لم يدرس البارامتر الخامس اللازم لتعريف قانون مور-كولومب وهو زاوية التمدد ψ لأنه يحسب ضمناً بدلالة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ϕ في البرنامج) تم القيام بإجراء تجارب تحميل عددية مختلفة من أجل كل بارامتر من البارامترات الأربع. يبين الشكل (5) منحنيات التحميل العددية الناتجة. نلاحظ من الشكل أن هناك أثراً كبيراً لتماسك التربة C ومعامل يونغ E وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ على منحنى التحميل للوتد في حين أن معامل بواسون μ ليس له تأثير يذكر

وهذا ما نلاحظه من خلال تقارب المنحنيات عند تغيير قيمته لذلك تم إهمال دراسته
كعاماً، مؤثراً فعالاً، في تحليل نتائج تحادب التحميل.



الشكل (5): تأثير كل من بارامترات التربة الأساسية على منحنى التحميل للوتد

5-2 تجارب التحميل العددية:

بعد وضع الموديل العددي وتحقيقه وتحديد البارامترات الأكثر تأثيراً على منحنيات التحميل تم إجراء عدد كبير من تجارب التحميل العددية لاستخدام نتائجها في الاستقراء العددي لمنحنى التحميل وقدرة التحمل الحدية للأوتاد. بالنسبة لبارامترات التربة المدخلة

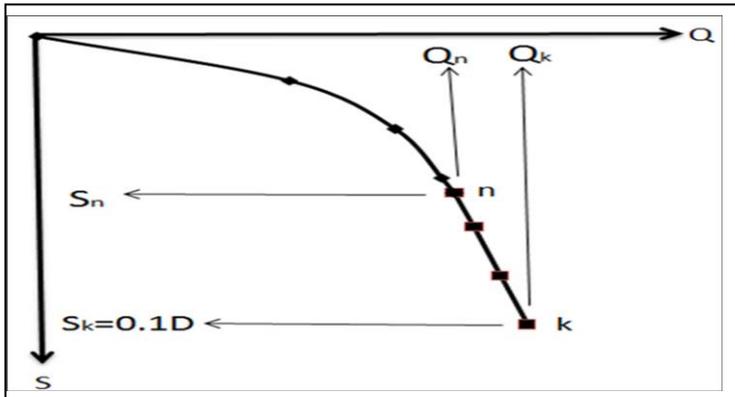
في الحسابات فقد تم الاعتماد على الجدول (2) لاختيار قيمها وهو مأخوذ من تصنيف الكود الألماني للتربة الغضارية [8].

جدول (2): مواصفات التربة الغضارية وفق الكود الألماني

الحالة	$\Phi(^{\circ})$	C(kPa)	$E_{oed}(MPa)$	$\gamma(kN/m^3)$	μ
غضار طري	15-25	5-15	1-2.5	17.5	0.4-0.45
غضار متماسك جداً	15-25	10-20	2.5-5	18.5	0.3-0.35
غضار شبه متصلب	15-25	15-25	5-10	19.5	0.3

أما الأوتاد فهي ذات خواص مرونة ثابتة ($E=20GPa$, $\mu=0.15$) ولكن أبعادها (الطول L والقطر D) متغيرة. تم عمل عدد كبير من تجارب التحميل على أوتاد بقيم المختلفة للنسبة L/D كما يلي: ($L/D= 10,11,12,13,14,15,20,30,40,50$) في تربة غضارية ذات مواصفات مختلفة مأخوذة من الجدول السابق، ثم تم رسم منحنيات (الحمولة-الهبوط) لكل تجربة. لاحظنا في المنحنيات العديدة الناتجة ومن المنحنيات لتجارب حقلية عديدة أنه في معظم منحنيات التحميل يمكن تقسيم منحنى التحميل لجزئين أساسيين: جزء منحنى أولي وجزء مستقيم عند نهاية التجربة كما في الشكل (6).

سنعرف نقطة التقاء الجزء المنحني بالجزء المستقيم بالنقطة (n) والهبوط عندها للوئد بـ (S_n) والحمولة المقابلة لها بـ (Q_n) ونقطة نهاية الجزء المستقيم بـ k والهبوط عندها للوئد بـ (S_k) والحمولة المقابلة لها بـ (Q_k). حسب الكود الألماني تنتهي تجربة التحميل عند الوصول لقيمة هبوط لرأس الوئد تعادل 10% من قطره وهذا ما سنعمده بالنسبة لتجارب التحميل لدينا بشكل عام.



الشكل (6): شكل نمونجي لمنحني (الحمولة-الهبوط) لتجربة التحميل الستاتيكي لوتد والنقاط المميزة فيه

5-3 نتائج الاستقراء العددي لمنحنيات التحميل:

لاحظنا نتيجة تحليل جميع المنحنيات العددية التي تم الحصول عليها وجود نتيجة هامة تتلخص بالعلاقتين التاليتين:

$$\frac{S_n}{D} = 0.062$$

$$\frac{Q_n}{Q_k} = 0.82$$

حيث: D: قطر الوتد

أي أن النسبة بين الهبوط عند نقطة الالتقاء بين الجزء المستقيم والجزء المنحني لمنحني التحميل (النقطة n) إلى قطر الوتد هي نسبة شبه ثابتة وتأخذ قيمة وسطية تساوي 0.062، وأن النسبة بين الحمولة عند نقطة الالتقاء إلى الحمولة عند هبوط 10% من قطر الوتد أيضاً تأخذ قيمة وسطية ثابتة تساوي 0.82 وذلك في جميع تجارب التحميل التي أجريناها.

تم فصل وإعادة رسم جميع منحنيات (الحمولة-الهبوط) لجميع التجارب على هذا الأساس كجزء منحني وجزء مستقيم وقمنا بإلباس الجزء المنحني من المخطط بمعادلة أسية من الشكل:

$$S = A \cdot e^{BQ}$$

حيث: S: هبوط رأس الوتد (m)

Q: قيمة الحمولة (kN)

A, B: ثوابت خاصة بكل منحني

لتحديد قيم الثابتين A و B تم الاستعانة ببرنامج رياضي وهو ال Curve Expert يتم من خلاله رسم كل جزء منحنى من مخطط (الحمولة-الهبوط) انطلاقاً من نقاطه بشكل مستقل واستخراج الثوابت الخاصة من اجل كل منحنى تحميل، بعدها تم تنظيم هذه القيم بالجدول (3) بدلالة نسبة طول الوتد إلى قطره مع بارامترات التربة.

الجدول رقم (3): قيم الثابتين A و B بدلالة بارامترات التربة

φ (°)	E (MPa)	L/D	C (kPa)	10		11		12		13	
				A*10 ⁻³	B*10 ⁻³						
15	10	10	10	6.344	7.420	7.332	6.170	5.820	5.097	3.850	7.680
17	13	9	9	5.276	7.296	6.119	6.105	4.906	4.953	2.740	8.000
19	16	8	8	4.268	7.751	4.882	6.534	4.218	5.004	2.220	8.150
23	22	6	6	3.091	8.457	3.264	7.648	3.038	5.493	2.130	7.940
15	20	15	15	3.333	4.760	3.602	4.038	3.289	3.063	2.730	4.030
17	26	14	14	2.535	4.857	2.748	4.156	2.532	3.144	2.370	3.920
19	32	13	13	2.160	4.831	2.422	4.135	2.200	3.122	2.260	3.770
21	38	12	12	2.311	4.463	2.269	4.066	2.213	2.961	2.160	3.670
23	44	11	11	2.303	4.274	2.187	3.957	2.426	2.748	2.320	3.480
25	50	10	10	2.352	4.027	2.325	3.743	2.339	2.689	2.550	3.180
15	50	20	20	1.855	3.499	1.785	3.103	1.899	2.230	1.820	2.780
17	60	19	19	1.960	3.183	1.685	2.955	1.782	2.143	1.840	2.620
19	70	18	18	1.895	3.045	1.722	2.818	1.802	2.025	1.680	2.570
21	80	17	17	1.914	2.868	1.821	2.651	1.867	1.896	1.950	2.310
23	90	16	16	2.222	2.569	1.970	2.464	2.000	1.765	2.160	2.110
25	100	15	15	2.295	2.416	2.167	2.280	2.345	1.582	2.430	1.910

تتمة، الجدول (3)

14		15		20		30		40		50	
A*10 ⁻³	B*10 ⁻³										
3.912	7.286	3.542	7.570	4.385	5.721	7.330	5.720	8.518	5.618	8.718	6.185
3.193	7.153	2.466	7.935	2.721	6.369	7.280	4.930	8.039	5.067	8.978	5.838
2.491	7.379	1.804	8.336	2.517	6.463	6.750	4.690	7.885	5.050	8.845	5.700
2.094	7.602	2.118	7.670	2.054	6.809	5.980	4.520	7.641	4.998	8.700	5.396
2.676	3.910	2.305	4.167	2.995	3.124	1.760	4.680	1.483	4.694	0.942	5.670
2.752	3.553	2.253	3.882	2.514	3.310	1.950	4.150	1.854	4.003	1.242	4.900
2.601	3.398	2.213	3.687	2.216	3.312	2.280	3.620	2.102	3.554	1.533	4.308
2.408	3.350	2.143	3.568	2.405	3.142	2.150	3.390	2.056	3.364	1.957	3.752
2.607	3.144	2.198	3.413	2.409	3.018	2.340	3.240	2.191	3.180	2.339	3.357
2.538	3.078	2.308	3.241	2.778	2.757	2.490	3.060	2.490	2.935	2.503	3.145
2.009	2.573	1.721	2.767	1.659	2.479	1.720	2.710	1.414	2.667	1.685	2.740
1.915	2.465	1.797	2.567	1.644	2.360	1.790	2.480	1.895	2.323	1.849	2.534
1.925	2.332	1.669	2.462	1.719	2.220	2.000	2.280	1.827	2.202	2.078	2.308
1.891	2.231	1.967	2.240	2.030	2.002	2.250	2.080	2.128	2.023	2.258	2.122
2.009	2.083	2.087	2.085	2.191	1.857	2.300	1.950	2.333	1.873	2.493	1.945
2.239	1.906	2.185	1.950	2.288	1.748	2.460	1.790	2.489	1.753	2.636	1.805

تؤخذ القيم البيئية لنسبة L/D بالتوسط.

من خلال معادلة الجزء المنحني $S=A.e^{BQ}$ وبأخذ لوغاريتم الطرفين نجد:

$$\ln(S) = \ln(A.e^{BQ}) \Rightarrow \ln(s) = \ln(A) + \ln(e^{BQ})$$

نختزل اللوغاريتم مع التابع النييري فنجد:

$$\ln(S) = \ln(A) + B.Q$$

وبالتالي بعزل Q نجد:

$$Q = \frac{\ln(S) - \ln(A)}{B} \quad (1)$$

وهي المعادلة التي تربط الحمولة بالهبوط بدلالة الثوابت A و B. من خلال هذه المعادلة يمكن تقدير منحنى الهبوط الحمولة للوتد بدلالة الثوابت A و B كما يلي:

- ندخل للجدول (3) من خلال أحد البارامترات المعلومة للتربة ونحدد قيم الثابتين A و B

- بما أن النقطة n (نهاية الجزء المنحني من منحنى التحميل) كما هو مبين في الشكل (6) هي نقطة من المنحني لذلك يمكن أن نعوض إحداثياتها في معادلة الجزء المنحني (المعادلة رقم 1) فنجد:

$$0.82 * Q_k = \frac{\ln(0.62 * 0.1D) - \ln(A)}{B}$$

وبالتالي:

$$Q_k = \frac{\ln(D) - \ln(A) - 2.7806}{0.82 * B} \quad (2)$$

- من المعادلة (1) يمكن تقدير منحنى (الحمولة- الهبوط) للوتد. فلرسم الجزء المنحني نحدد الحمولة القصوى Q_k من المعادلة (2) فتكون الحمولة التي يقف عندها الخط المنحني $0.82Q_k$ ثم ننظم جدولاً بقيم الهبوط والحمولات المقابلة لها من المعادلة (1) ونرسم الجزء المنحني. أما الجزء المستقيم من منحنى التحميل فهو محدد بالنقطتين $n(S_n, Q_n)$ و $k(S_k, Q_k)$ بسهولة يمكن رسمه.

يجب مراعاة عدم اعطاء قيم صغيرة للهبوط أقل من (1) وذلك بسبب خصوصية التابع النيبيري الغير معرف عند الصفر التي تسبب تقعر كبير لمقدمة المنحني.

4-5 مقارنة مع طرق التقييم التقليدية:

تقدير قدرة التحمل الحدية لوتد بيتوني مفرد في تربة غضارية

كتحقيق إضافي لصحة النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام الطريقة التي تم اقتراحها في البحث (سندعوها فيما يلي بالطريقة الخاصة) تم القيام بمقارنة قيم الحمولة الحدية التي تم الحصول عليها من تجربتي تحميل حقليتين تم تنفيذهما على وتدين بيتونيين منفذين في تربة غضارية قاسية في منطقة تقع على الحدود الشمالية الغربية لباكستان مع القيم الناتجة باستخدام طريقتنا الخاصة من جهة، والقيم الناتجة عن بعض أهم طرق التقييم التقليدية الشائعة (طريقة شين المعدلة وطريقة دافيسون)، كما تم رسم منحنى التحميل باستخدام الطريقة الخاصة ومقارنته مع كل من منحنى التحميل التجريبي وذاك المرسوم بطريقة شين المعدلة. يبين الجدول (4) مواصفات كل من الوتد والتربة في تجربتي التحميل الحقليتين [2]:

الجدول (4): مواصفات كل من التربة والوتد لتجربتي التحميل الحقليتين

تماسك التربة (KPa)	مواصفات الوتد		رقم الوتد
	القطر (mm)	الطول (m)	
20	660	20	Pile NO.1
15	660	21.5	Pile NO.2

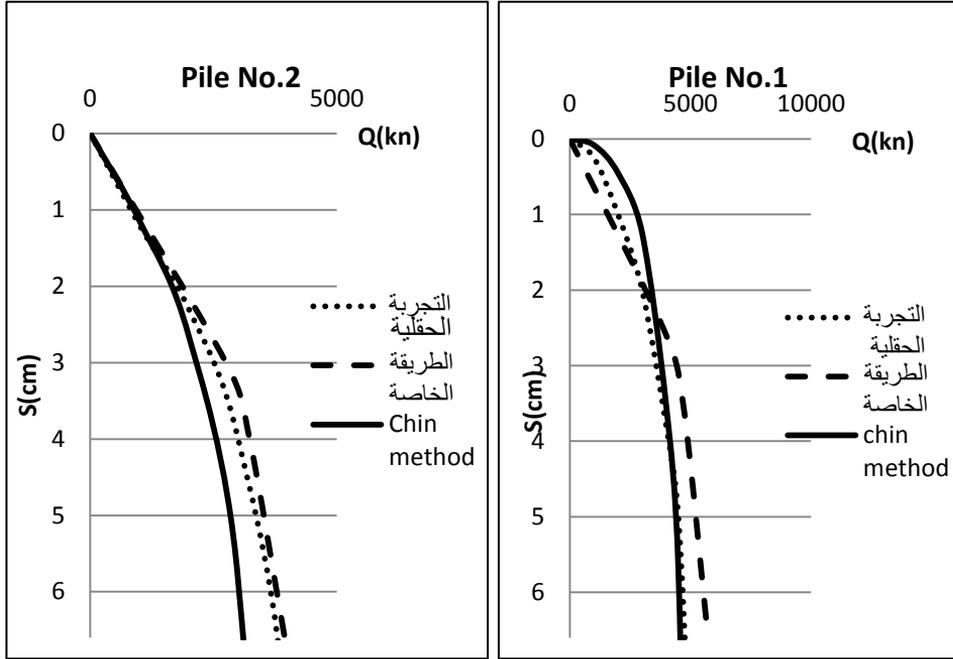
يبين الجدول (5) قيم الحمولة الحدية لكل من الوتدين في التجربة الحقلية إضافة إلى القيم الناتجة بالطريقة الخاصة وطريقتي شين المعدلة ودافيسون:

الجدول (5): مقارنة قيم الحمولة الحدية الناتجة بالطريقة الخاصة مع القيم التجريبية والناتجة بطريقتي شين المعدلة ودافيسون

طريقة التقييم	الحمولة الحدية للوتد رقم 1 Q_u (kN)	الحمولة الحدية للوتد رقم 2 Q_u (kN)
تجربة تحميل حقلية	5219	4522
طريقة دافيسون	4170	4465
طريقة شين المعدلة	4815	4905

الطريقة الخاصة	5729	3943
----------------	------	------

نلاحظ من الجدول أن القيم التي تعطيها الطريقة الخاصة قريبة من القيم الحقلية والمستنتجة بطرق التقييم الشائعة. من جهة أخرى، يبين الشكل (7) مقارنة بين منحنى التحميل التجريبي مع نظيره المرسوم بكل من الطريقة الخاصة وطريقة شين المعدلة:



الشكل (7): مقارنة منحنى التحميل الحقلية مع المنحنى الناتج بالطريقة الخاصة وطريقة شين المعدلة

نلاحظ من الشكل أن هناك تقارباً مقبولاً بين المنحنى المرسوم بالطريقة الخاصة ونظيره الحقلية أو المرسوم بطريقة شين المعدلة مما يؤكد سلامة الطريقة الخاصة وصلاحيتها لتقدير شكل منحنى التحميل.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

6-1 الاستنتاجات:

- يتأثر شكل منحنى (الحمولة-الهبوط) للوتد بشكل واضح بكل من التماسك والاحتكاك الداخلي ومعامل يونغ للتربة الغضارية، في حين أن تأثير معامل بواسون أقل بكثير ويمكن إهماله.
- يمكن الاعتماد على المعادلات المقترحة (المعادلتين 1 و 2) في البحث في حساب قدرة التحمل الحديدية للأوتاد في التربة الغضارية وفي تقدير شكل منحنى (الحمولة-الهبوط) للتجربة دون الحاجة إلى إجراء الكثير من تجارب التحميل على الأوتاد مما يوفر الكثير من الوقت والجهد والكلفة.

6-2 التوصيات:

- إن عدم التطابق بين نتائج تجارب التحميل ونتائج الحساب بالطرق التحليلية المختلفة يدفع دوماً للاستمرار في البحث عن معادلات أكثر دقة تعطي قيماً قريبة من الواقع.
- مواصلة البحث في تأثير البارامترات الأخرى على تجارب التحميل في التربة الغضارية كالنسبة فوق المشددة وقرينة اللدونة وغيرها ومحاولة ربطها بنتائج تجربة التحميل.
- الاستمرار في تجميع نتائج التجارب الحقلية للأوتاد من أجل تقييمها ومقارنة نتائجها مع الطرق المقترحة بهدف الحصول على تصويب للمعادلات لتغدو أكثر دقة.
- متابعة الأبحاث على أنواع أخرى من التربة كالرملية والمختلطة.

References

- [1] **ABAQUS Analysis User's Manual**. Version 6.10, 2010.
- [2] AKBAR. A, KHILJI. S and KHAN. S. B, 2008 Shaft Friction of Bored Piles in Hard Clay, **Pak. J. Engg. & Appl. Sci**, Vol. 3. 54–60.
- [3] CHIN. F. K, 1970 Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure, **Proc. of the second Southeast Asian Conference on Soil Engineering**, Singapore City, 11-15 June, 81-90.
- [4] DAVISSON. M. T, 1972 High capacity piles. Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, **American Society of Civil Engineering, ASCE**, Illinois Section, Chicago, 22 March, 81-112.
- [5] DECOURT. L, 1999 Behavior of Foundations Under Working Load Conditions, **Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**, Fog DoIguassu, Brazil, August, Vol. 4. 453 – 488.
- [6] HANSEN. J. B, 1963 Discussion on hyperbolic stress-strain response, Cohesive Soils, **Journal for Soils Mechanics and Foundations Engineering**, Vol. 89. 241-242.
- [7] KRASINSKI. A and WISZNIEWSKI. M, 2017 Static load test on instrumented pile – field data and numerical simulations, **Studia Geotechnica et Mechanica**, Vol. 39. No. 3. 17-25.
- [8] **Recommendations of the "Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways" EAU 2012**, 2015, 9th Edition, 676 P.
- [9] **Syrian Arab Code for the design and implementation of concrete structures – 5th Supplemente: Foundations Code**. Damascus 2004 (المرجع in Arabic).
- [10] SZYMKIEWICZ. F, SANAGAWA. T and NISHIOKA. H, 2020 Static pile load test: international practice review and discussion about the European and Japanese standards. **International Journal of GEOMATE**, Vol. 18. Issue 66. 76-83.
- [11] WEHNERT. M and VEMEER. P. A, 2004 Numerical analyses of load test on bored piles, **Proc. of the 9th International Symposium on "Numerical Models in Geomechanics"**, Ottawa, 25-27 August, 1- 6.

- [12] ZHAN. Y. G, WANG. H and LIN. F. C. 2012 Modeling vertical bearing capacity of pile foundation by using ABAQUS. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, Vol.17. 1855-1865.