مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (2) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (2) 2013

دراسة تحليلية مقارناتية لتجارب التحميل على الأوتاد المدقوقة في الترب الرملية

الدكتور منذر عمران الزاوي*

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2012. قُبِل للنشر في 3/ 3 / 2013)

∇ ملخّص ∇

يمثل هذا البحث محاولة إنشاء قاعدة معطيات أولية عن تجارب تحميل الاوتاد البيتونية المدقوقة في التربة الرملية, وقد اعتمد البحث على تحليل عدد كبير من منحنيات تجارب التحميل المتوفرة وتقييمها, ودرس تغير قيمة التحمل الحدية للوتد المأخوذة من تجارب التحميل بدلالة عدة بارامترات (الكثافة النسبية للرمل, طول الوتد المغروز في الطبقة, قطر الوتد المدقوق), وبناء على النتائج اقترحت علاقة تقريبية أولية لحساب قوة التحمل الحدية للاوتاد المدقوقة في الرمل, ومن ثم أجريت مقارنات بين الطريقة المقترحة وبين الطرائق الحسابية التحليلية كذلك بينها وبين نتائج الحساب وفق بعض الكودات العالمية المتوفرة (الامريكي, الروسي, الالماني) .

تقدم العلاقة التقريبية طريقة سهلة وبسيطة لحساب قوة تحمل الوتد البيتوني المدقوق في التربة الرملية بحسب درجة ارتصاصها, وطول الوتد المغروز فيها وقطره, ويمكن اعتبار الطريقة المقترحة مقدمة للمتابعة في تطوير البحث ليشمل أنواعاً أخرى من الترب .

الكلمات المفتاحية : أوتاد – التربة الرملية – الترب المفككة – قدرة تحمل الاوتاد .

* **استاذ – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية .**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (2) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (2) 2013

Analytical comparative study of load tests on driven piles in sandy soils

Dr.Mounzer Omran Alzawi*

(Received 4 / 7 / 2012. Accepted 3 / 3 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

This research represents a trial to establish a primary database of load tests applied on concrete driven piles embedded in sandy soils. This research depended on analyzing and evaluating a large number of available load test curves of driven piles. The variation of pile ultimate bearing capacity value is studied according to several parameters such as (relative density of sand, embedded length of pile and pile diameter) .Depending on the obtained results a primary approximate relationship is suggested to calculate the ultimate bearing capacity of driven piles in sand . Then, a comparison is made between the suggested method and the other analytical calculation methods and also, with the obtained results from an available international codes of practice in America, Russia and Germany. The approximate relationship introduces a simple and easy method to calculate the bearing capacity of concrete driven piles in sands. Also, This suggested method may be considered as an introduction to developing the researches to include different kinds of soils .

Keywords : piles, sand, cohesionles soil, bearing capacity of piles.

* **Professor ,Department of Geotechnical engineering ,Tichreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة :

لازال التأسيس على الأوتاد يكتسب كل يوم أهمية جديدة ويلقى مزيدا من الإقبال لدى الجهات المصممة في مجال الهندسة الجيوتكنيكية نظراً إلى أن تنفيذه لايسبب كثيراً من الإرباك في الورشة ونظراً إلى كفاءته العالية كبديل مناسب لحل المشكلات التقنية والتصميمة التي تصادف الأساسات السطحية, والدراسات في هذا المجال لاتكاد تنتهي لأن السلوك الحقيقي للوتد في التربة مرتبط بالكثير من البارامترات والمؤثرات التي لايمكن أن تدرس كلها مجتمعة لذلك يبقى مجال الأوتاد مجالا رحبا للبحث العلمي المستجد وإدخال موضوعات وأفكار وتعديلات جديدة عليه .

إن تحديد قدرة التحمل الحدية للوتد سواء من تجربة التحميل الستاتيكية أو الديناميكية (دق الوتد) هو وحده من يؤكد عملياً صحة المعادلات والصيغ الجاهزة المستخدمة في حساب قوة التحمل المسموح بها, لكن تبقى هذه التجارب عالية الكلفة وتستلزم تجهيزات وإعدادات مربكة في الموقع فضلا عن الوقت المصروف المستقطع من وقت المشروع مما يدعو إلى البحث عن بدائل سريعة أخرى لهذه التجارب شرط أن لاتستغني عنها .

إحدى هذه البدائل المقترحة تحليل ودراسة نتائج عدد كبير من تجارب تحميل ودق الأوتاد وربطها بعلاقات مناسبة ومقارنتها مع الكودات المختلفة, وذلك بهدف التوصل إلى صيغ مقبولة لاستعمالها في التصميم, وتقديم رديف للطرائق الحسابية الرياضية قابل للمقارنة بها .

أهمية البحث وأهدافه :

يعتمد هذا البحث على تحليل نتائج عدد من تجارب التحميل التي أجريت على مدى 21 عاماً على الأوتاد المدقوقة في الترب الرملية في مناطق متفرقة من القطر (اتوستراد طرطوس اللاذقية, صافيتا, الرقة, طرطوس, مرفأ اللاذقية, بورتو طرطوس..) وتقديم ربط منطقي للنتائج قد لايُعدّ إحاطة نهائية متكاملة لسلوكية الوتد في التربة الرملية لأن هذا يخرج عن قدرة هذا البحث الآن لكنه يجهد إلى حد بعيد في مقاربة الواقع والناحية العملانية الصرفة ويقدم تصوراً ربما يكون مقدمة لبحث أكثر توسعاً في هذا المجال .

البحث هو أكثر من مجرد عرض لطرائق حساب قيم قوى التحمل الحدية للأوتاد, ويهدف إلى إنشاء قاعدة معطيات عن تجارب تحميل الأوتاد في الرمل بتقديم تحليل مقارناتي منطقي بين القيم التجريبية العملية لقوة التحمل الحدية المستقرأة من مخططات تجارب التحميل الحقلي في الترب الرملية وباستخراج بعض العلاقات التقريبية المفيدة من أجل المقارنة مع قوة التحمل الحدية للأوتاد المجربة والمحسوبة وفق بعض الكودات العالمية, مستفيدين من بعض البارامترات التي وجدنا أنها ربما تكون مؤثرة في تقدير قيم قوى التحمل الحدية للوتد في الترب الرملية .

طرائق البحث ومواده :

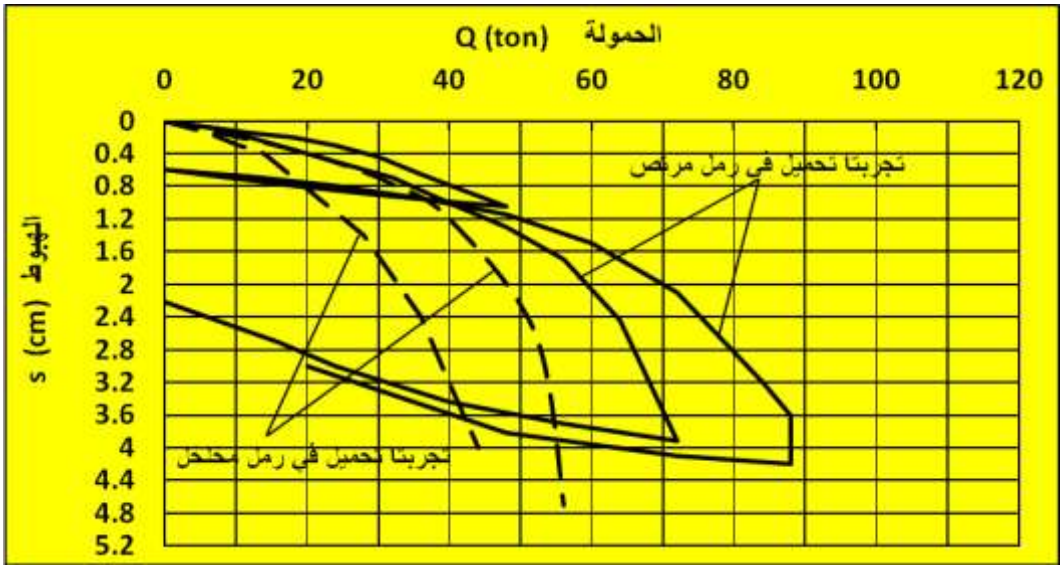
اعتمدت الدراسة على نتائج أكثر من ثلاثين تجربة تحميل في التربة الرملية على أوتاد تابعة لمشاريع مختلفة في مناطق متفرقة من القطر مقتصرين في بحثنا على الأوتاد البيتونية المدقوقة المسبقة الصنع باقطار تتراوح على الأغلب بين 30 و45سم وقد عمدنا من خلال تحليل وتقييم مخططات تجارب التحميل (حمولة–هبوط) إلى ربط سلوكية الوتد وقيمة قوة التحمل الحدية بعاملين مهمين تم الاعتماد عليهما في البحث هما :

الأول : الكثافة النسبية I_D للتربة الرملية المغروز فيها الوتد والتي تم تحديد درجة ارتصاصها ومجال كثافتها النسبية اعتماداً على قيم (تجارب الاختراق النظامية SPT) المجراة في مواقع التجارب المذكورة .

الثاني : الطول المغروز للوتد في التربة الرملية : L .

لأن قيم قوى التحمل الحدية في الأوتاد تتأثر كما هو معروف بشكل كبير بهذين العاملين إضافة إلى تأثرها بنوع الوتد ومقطعه, ومن المفيد أن نذكر أن هذا البحث اقتصر على تقييم نتائج تجارب التحميل على الأوتاد البيتونية المدقوقة في ترب رملية متجانسة .

ومن أجل التخلص من مصاعب التحميل بالمكعبات البيتونية فقد تم في أغلب التجارب الاستغناء عن المساند التقليدية بدق وتدين إضافيين (وتدي شد) على جانبي الوتد المجرب يخدمان كمساند معاكسة حيث لحم بهما جائز معدني يستند إليه المكبس الهيدروليكي, ويبين الشكل (1) بعض نماذج منحنيات التحميل التي تم الحصول عليها من الاختبارات السابقة .



الشكل 1 : بعض منحنيات تجارب التحميل المجراة

أجريت التجارب على الاوتاد المدقوقة بعد مرور يومين على تنفيذها وحملت أغلب التجارب إلى حمولة تساوي 1,5−2,0 من قيمة الحمولة التصميمية للوتد في موقع المشروع وحملت الحمولة على مراحل بمعدل $(\frac{1}{8})$ قيمة الحمولة التصميمية لكل مرحلة وتم نزع التحميل بشكل تدريجي عند الوصول الى نصف قيمة التحميل القصوى المفترضة ومن ثم متابعة التحميل تدريجيا من جديد .

مراجعة نظرية :

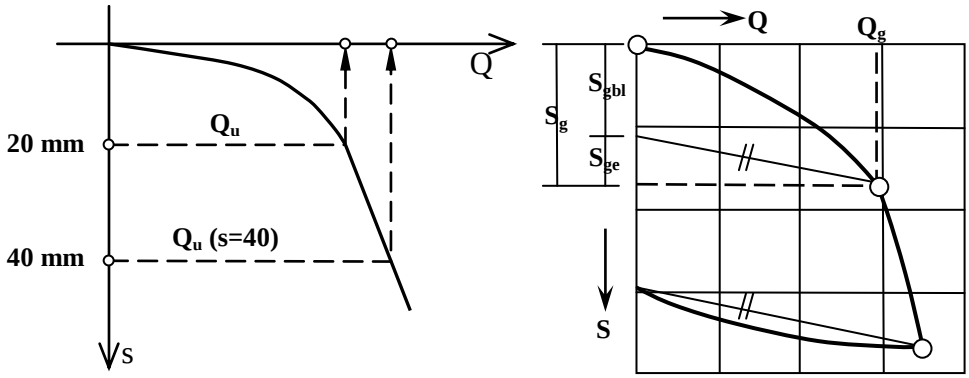
من المعروف أن قوة التحمل الحدية للوتد هي عبارة عن تابع بالنسبة إلى الهبوط s ويعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$Q_u = f(s) \qquad (1)$$

وتعرف الحمولة الحدية بأنها الحمولة التي تجعل الوتد يهبط هبوطا ملحوظاً وتؤخذ قيمة الحمولة الحدية من مخطط الحمولة–الهبوط في تجربة التحميل المقابلة للنقطة التي يلتقي فيها الجزء المنحني من المخطط مع الجزء المستقيم, وعندما لايحقق شكل مخطط التجربة هذا الاعتبار فإن الحمولة الحدية للاوتاد المحفورة تؤخذ على المخطط عند قيمة هبوط مساوية إلى 2سم, أما بالنسبة إلى الاوتاد المدقوقة المسبقة الصنع فإن الحمولة الحدية تؤخذ عند قيمة للهبوط المتبقي مساوية الى $s_{gbl} = 0,025 \cdot D$ حيث D قطر الوتد . [1] . انظر الشكل (2) .

بالنسبة إلى الأوتاد المحفورة ذات القطر الكبير فإن التجربة قد لايمكن المتابعة فيها حتى الوصول الى حمولة الكود المنصوص عنها سابقا لذلك تعتمد قيمة الحمولة الحدية . بحسب الخبرة . هي القيمة المقابلة للهبوط المسموح ويتابع عمليا بالتجربة حتى الوصول إلى أربعة أمثال الهبوط المسموح ثم تتوقف .[2] .

إن قيمة الهبوط الدقيقة التي تستنفد عندها قوة التحمل بالكامل وتصل إلى قيمتها الحدية لاتزال موضع خلاف علمي ولم تحل حتى الآن بشكل قاطع لكن تنصح بعض الأنظمة لحل هذه المشكلة باختيار قيمة تقريبية مقبولة لقوة التحمل الحدية موافقة لقيمة معينة للهبوط المسموح به هي إما 2سم أو 4سم كما يبين الشكل التالي :



الشكل 2 : تحديد الحمولة الحدية كتابع لقيمة الهبوط المسموح وفق الكود الالماني

تبقى قيمة قدرة التحمل الحدية المأخوذة عند هبوط 2 سم أقرب إلى الواقع والمنطق من القيمة المأخوذة عند هبوط 4 سم, ورغم أن هذا الاعتبار الأخير يبقى في خانة الاعتبارات التقريبية لأنه لايأخذ شكل المنحني بعين الاعتبار إلا أن توصيات الكود الألماني DIN–1054 [3] على سبيل المثال تعتمده نظراً إلى :

1 – مقاربته للأغراض العملية وهو ما برهنه كثير من اختبارات التحميل .

2 – قابليته للمقارنة .

أما بالنسبة إلى تجارب التحميل على الاوتاد المدقوقة (موضوع البحث) فقد استقرأنا القيمة الحدية المقابلة لهبوط مقداره (**0,025D**), وبينت النتائج أن هذه القيمة تمثل اختياراً مقبولاً في الأوتاد البيتونية المدقوقة لأن :

- قيمة قوة التحمل الحدية المقابلة لهذه القيمة قريبة جدا من القيمة المقابلة للهبوط 2سم التي أوصى بها الكود الالماني .
- قيمة هبوط الوتد المحسوبة تحت قيمة الحمل المستقرأة من مخطط تجربة التحميل بقيت قريبة جدا من هذه القيمة .
- أغلب المراجع اعتمد من أجل الحمولة الحدية على هذه القيمة أو على قيمة قريب منها (2,5سم).

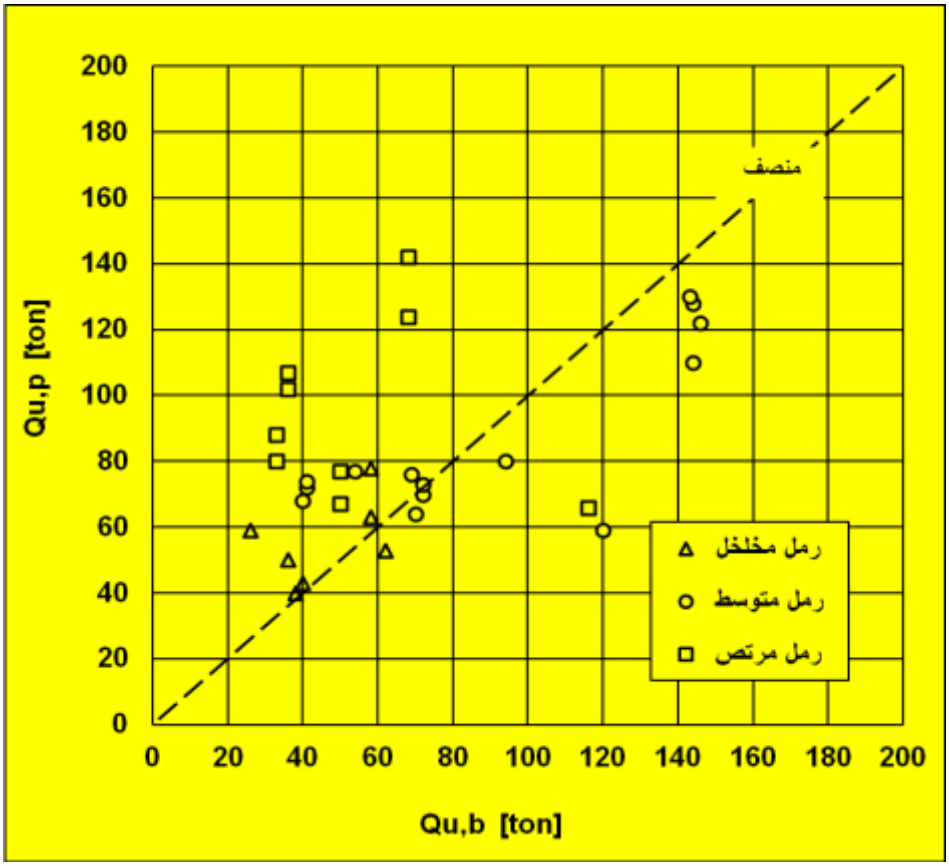
- اختيار قيم أقل لعامل الأمان من أجل تحديد قوة التحمل المسموحة للوتد يصبح ممكناً لأن أغلب الطرق الحسابية تعتمد قيمة لمعامل الأمان عند هبوط مسموح أكبر من هذه القيمة .

النتائج والمناقشة :

1 – تحليل الاختبارات السابقة :

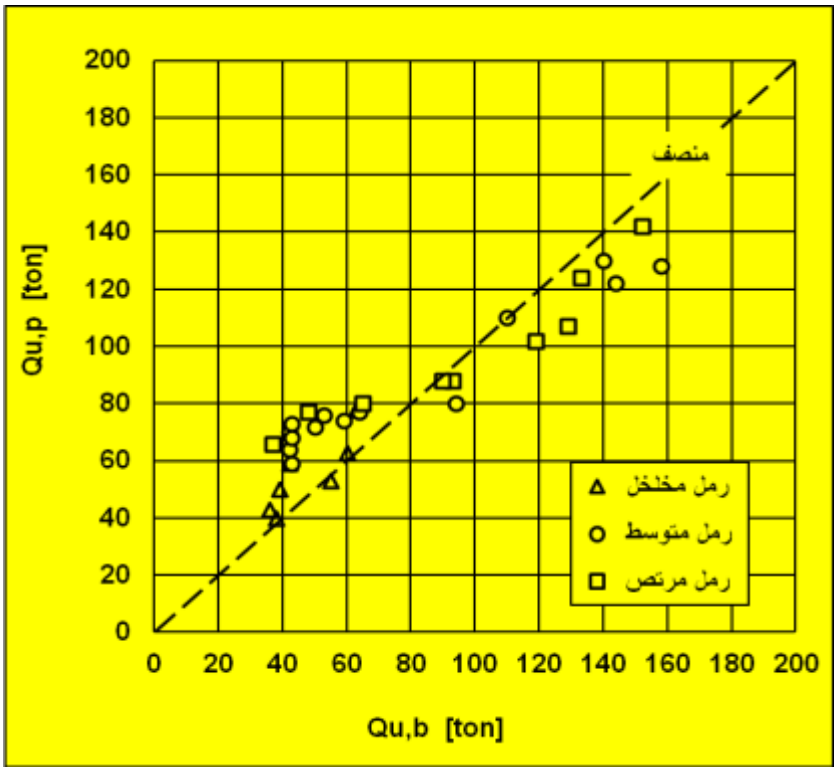
يتلخص هدف تقييم اختبارات تحميل الأوتاد في مقارنة قيم قوة التحمل الحديّة المستقاة من تجارب التحميل $Q_{u,p}$ مع قيم قوة التحمل الحديّة المحسوبة بالطرق الحسابية $Q_{u,b}$ وفق الكودات المختلفة والأنظمة، وانحصرت المقارنات مع طرق حساب قوة التحمل الحديّة للوتد وفق الكودات الألماني والأمريكي والروسي .

قمنا بحساب قوة التحمل الحدية للتجارب المتوفرة لدينا بالطرق الحسابية العادية وعمدنا كما يبين الشكل (3) إلى مقابلة بين القيم التجريبية المقاسة لقوة التحمل الحدية وبين القيم المقابلة لها المحسوبة وفق الكود الألماني DIN–1054 [2,3] وذلك لمختلف الحالات الموجودة لدينا, ومن أجل اوتاد بيتونية مدقوقة .



الشكل 3 : الموازنة بين القيمة الحدية المحسوبة وفق الكود الالماني والقيمة المأخوذة من تجربة التحميل

حسبت القيم السابقة نفسها وفق الكود الروسي SNIP 2,02,03–85 [4], ويبين الشكل (4) المقارنة بين القيم الحسابية لقوة التحمل الحدية للأوتاد المجربة في مواقع التجريب وبين قيم القوى الحدية لقوة التحمل الحديّة المأخوذة من منحنيات تجارب التحميل .



الشكل 4 : الموازنة بين القيمة الحدية المحسوبة وفق الكود الروسي والقيمة المأخوذة من تجربة التحميل

ويتبين أول مايتبين من هذه المقارنة العامة أن ثمة اختلافا كبيرا وعدم تطابق بين القيم التجريبية والقيم الحسابية لقوة التحمل الحدية للأوتاد ونعتقد أن السبب في هذا يعود إلى :

- تبعثر النتائج بحيث لايمكن إيجاد علاقة رابطة بين قيم قوة التحمل الحدية المستقاة من تجارب التحميل $Q_{u,p}$ وبين قيم قوة التحمل الحدية المحسوبة بالطرق الحسابية $Q_{u,b}$.
- أن $Q_{u,b} < Q_{u,p}$ في المجال $Q_{u,b} < 80\ t$ أي أن نتائج الحساب تبقى ضمن حدود الأمان أما في المجال $Q_{u,b} > 80\ t$ فإن $Q_{u,b} > Q_{u,p}$ أي أن نتائج الحساب أكبر من القيم المجربة الفعلية وهي لذلك غير مقبولة, وقد وجدنا بالرجوع إلى معطيات التجارب أن الحالات التي فيها $Q_{u,b} > Q_{u,p}$ كانت فيها أطوال الاوتاد المحملة أكبر من 10م وهذا باعتقادنا هو السبب الذي يجعل نتائج الحساب لاتتوافق مع نتائج التجارب لأن القيم النظرية تتناسب مع طول الوتد كما سوف نفصل ذلك لاحقاً.

استناداً إلى نتائج كثير من تجارب تحميل الأوتاد وجد KEZDI [5] أن العلاقة بين قوة التحمل الحدية (ارتكاز + احتكاك) غير خطية واقترح العلاقات التالية لحساب قوة التحمل الحدية على الارتكاز وقوة التحمل الحدية على الاحتكاك كلا على حدة :

قوة التحمل الحديّة على الاحتكاك : **(2)**

$$Q_{u,s} = p.k_0.\gamma.\tan\varphi.\frac{L^2}{2}.\left(1 - e^{-k\frac{s}{s_0 - s}}\right)$$

قوة تحمل الوتد الحديّة على الارتكاز : **(3)**

$$Q_{u,p} = \alpha.\gamma.L.D.s$$

قوة تحمل الوتد الكلية : **(4)**

$$Q_u = Q_{u,p} + Q_{u,s}$$

حيث :

p [m] : محيط مقطع الوتد .

k_0 : معامل دفع التربة أثناء السكون .

γ [t/m^3] : الوزن الحجمي للتربة .

φ [o] : زاوية الاحتكاك الداخلي .

L [m] : الطول المغروز للوتد في التربة .

k : ثابت يحصل عليه من تجربة القص على التربة .

s [cm] : انزياح الوتد .

s_0 [cm] : الانزياح الذي تبلغ عنده مقاومة القص بين التربة والوتد قيمتها القصوى .

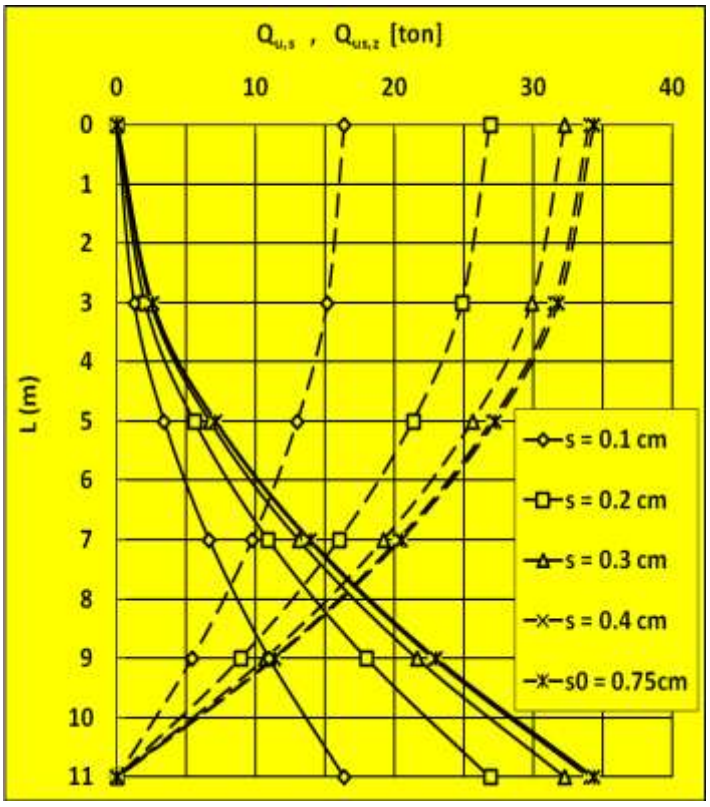
D [m] : قطر الوتد .

α : ميل الجزء المستقيم لمخطط تجربة التحميل ويؤخذ من تحميل مستوى ارتكاز الوتد دون أخذ الاحتكاك بالحسبان .

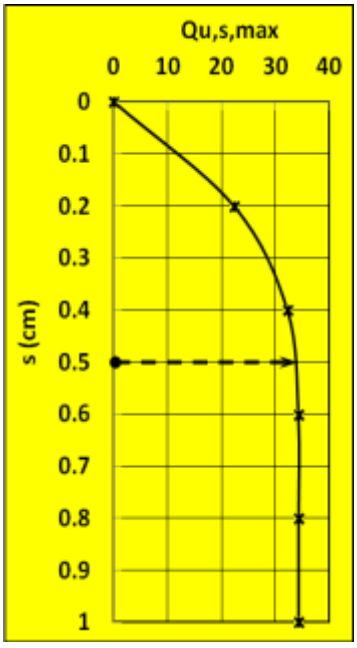
وقد اعتمد KEZDI في معادلاته السابقة على افتراض موشور انهيار يمتد من أسفل الوتد إلى سطح التربة وهذا ما يبين بوضوح أن مقاومة الارتكاز تابعة لطول الوتد بينما مقاومة الاحتكاك الحدية تابعة لمربع طول الوتد, وكلتا القيمتين تابعتان للانزياح القصي الصافي :

$$Q_{u,s} = f(L^2) \quad ; \quad Q_{u,p} = f(L) \qquad (5)$$

وبالعودة إلى ماذكرناه سابقا من أن الكود الألماني DIN-1054:2005-01 يعتبر بالنسبة إلى الأوتاد المدقوقة أن الإزاحة بين التربة والوتد إذا وصلت تقريبا إلى 0,025.D حيث D قطر الوتد فإن مقاومة القص بين الوتد والتربة تبلغ قيمتها القصوى, وقد قمنا بالربط بين توصية الكود الألماني والعلاقات بتعويض هذه القيمة فيها وأمكن بذلك استنتاج توزع تقريبي لمقاومة الاحتكاك على طول الوتد من أجل قيم مختلفة متدرجة للانزياح s (الخطوط المستمرة) بدءا من 0.1سم إلى 0,025.D حيث جربنا هذا الاعتبار النظري على وتد بيتوني افتراضي مربع (0,3×0,3م) مدقوق في التربة بطول 11م . الشكل (5) . تبين الخطوط المنقطة في الشكل توزع حصة الوتد من الاحتكاك $\mathbf{Q_{us,z}}$ (المعادلة 2) وتخامدها حتى الوصول إلى أسفل الوتد .



الشكل 5 : توزع مقاومة الاحتكاك على طول الوتد



الشكل 5 : مقاومة الاحتكاك بدلالة الانزياح الآني

حسبت القيمة العظمى لمقاومة الاحتكاك وفق KEZDI (أي حصة الحمولة الحدية من الاحتكاك) عند كل قيمة للانزياح, وقد تبين بنتيجة هذا الحساب أن مقاومة الاحتكاك الحدية تصل إلى قيمتها العظمى عند انزياح يساوي 55%–50% تقريباً من الانزياح الأقصى للوتد وتبقى ثابتة بعد ذلك . انظر الشكل (5) .

تستلزم الطرق الحسابية في الكودات المختلفة الاستعانة بالعديد من الثوابت التقريبية والجداول المساعدة في الحساب مما يترك أثره في نهاية الامر على دقة الحساب النهائية, وهذا مايفسر استمرار الحاجة إلى علاقات أبسط لحساب قدرة التحمل الحدية للوتد بالاعتماد على نتائج الاختبارات الحقلية التي يمكن صياغتها بعلاقات وصيغ رياضية تقريبية مقبولة لحساب قوة التحمل الحدية للوتد بدلالة بعض البارامترات المفيدة, وقد وجدنا من خلال المقارنات العديدة بين النتائج ومقابلتها مع مواصفات التربة التي يستقر فيها الوتد أن قوة التحمل الحدية للوتد مرتبطة بثلاثة بارامترات أساسية سوف نستفيد منها في صياغة النتائج بشكل منطقي مناسب وهي :

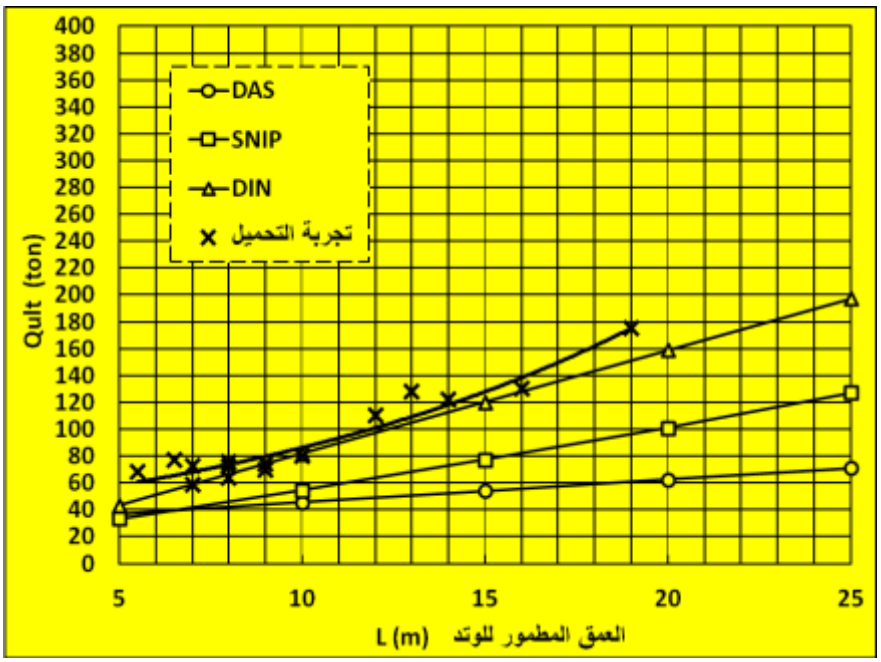
- عمق انغراز الوتد في طبقة الارتكاز . L .
- قرينة ارتصاص الرمل (الكثافة النسبية) I_D .
- قطر الوتد . D .

أولا – عمق انغراز الوتد في طبقة الارتكاز L :

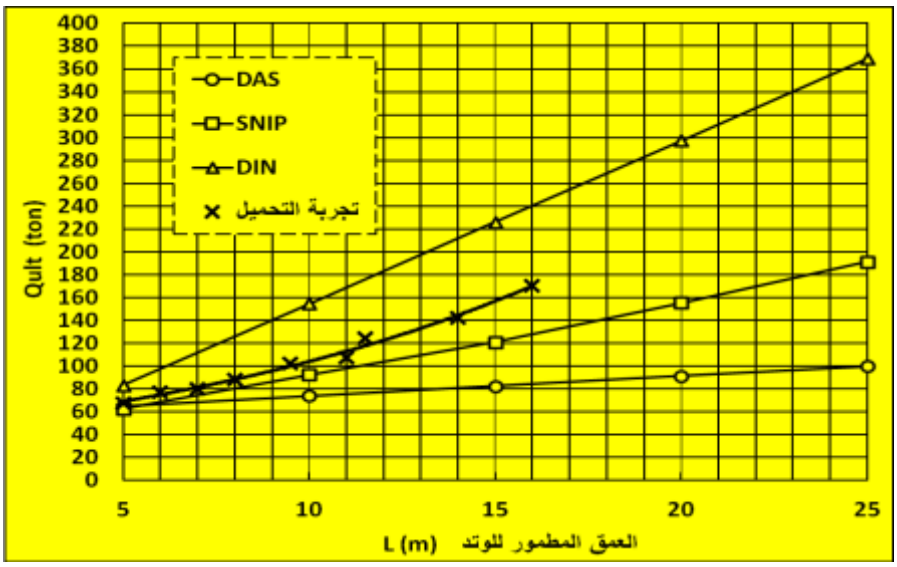
قمنا من أجل تحقيق هدف المقارنة بحساب قوى التحمل الحدية للأوتاد المحملة المدروسة بما يناسب حالة كل موقع أجريت فيه تجربة التحميل, وذلك وفق الكود الألماني DIN, والكود الروسي SNIP, والكود الأمريكي

AS(بحسب طريقة B.DAS المعروضة في كتابه مبادئ هندسة الاساسات) [6], وتم الحساب وفق مانصت عليه الكودات أعلاه لحالات الرمل المخلخل والمتوسط والمرتص بدلالة قيم مختلفة لعمق الالغرز ومن ثم حملت النتائج على مخطط واحد مع النتائج المستخلصة من تجارب التحميل وذلك لغايات المقارنة .الأشكال (6 – 7) .

تبين نتيجة المقارنة بين القيم المحسوبة والقيم التجريبية أن العلاقة بين القيم الحسابية لقوة التحمل الحدية للاوتاد وبين طول الوتد علاقة خطية عموماً في الكودات الثلاثة رغم اختلاف القيم, وتعود العلاقة الخطية عموما الى استعمال هذه الكودات لثوابت جدولية وعوامل حسابية متناسبة خطياً مع مقاومة الاحتكاك على جوانب الوتد .



الشكل 6 : مقارنة بين نتائج الحساب بالكودات المختلفة لقيم قوة التحمل الحدية للوتد (D=0,35m) بدلالة طوله وبين نتائج تجارب التحميل في تربة الرمل المتوسط الارتصاص

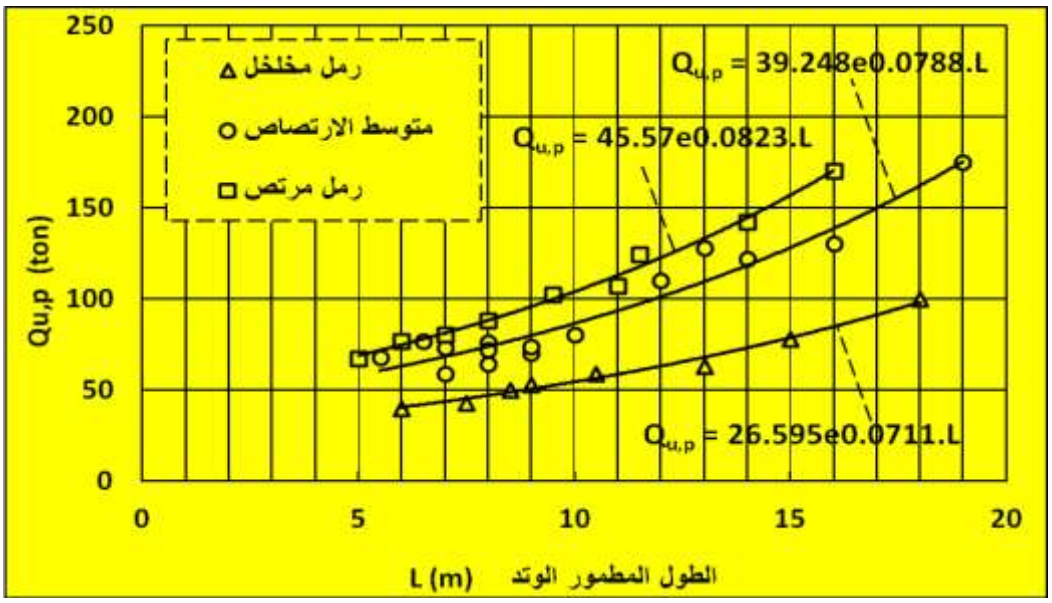


الشكل 7 : مقارنة بين نتائج الحساب بالكودات المختلفة لقيم قوة التحمل الحدية للوتد (D=0,35m) بدلالة طوله وبين نتائج تجارب التحميل في تربة الرمل المرتص

تم تجميع نتائج تجارب التحميل المتوفرة على الاوتاد المدقوقة في الرمل (30 تجربة) وقسمت الى ثلاث زمر بحسب درجة ارتصاص الرمل حيث اعتمدنا في تصنيف الرمال في المواقع التي نفذت فيها تجارب التحميل المختلفة على الكود الالماني DIN-18126 [7] بحسب مجالات الكثافة النسبية (قرينة الارتصاص) التالية إلى مخلخل ومتوسط ومرتص :

$I_D \leq 30\ \%$	:	**رمل مخلخل**
$30\ \% < I_D \leq 80\ \%$	:	**رمل متوسط الارتصاص**
$I_D > 80\ \%$	:	**رمل مرتص**

وضعت القيم بيانيا على الشكل (8) بدلالة الطول المغروز للوتد في التربة بحسب مجال الكثافة النسبية في كل زمرة, وأمكن بمساعدة برنامج الاكسل تقريب النتائج المبينة على الشكل إلى علاقة أسية بين قوة التحمل الحدية وبين طول الوتد المغروز لحالات الارتصاص الثلاث :

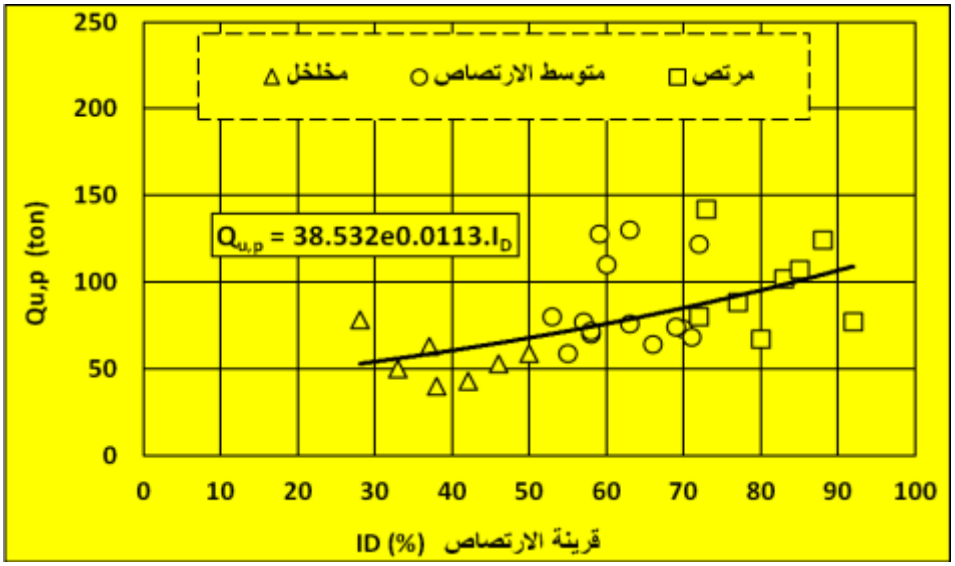


الشكل 8 : نتائج نتائج تجارب التحميل في ترب رملية مختلفة

يتضح في جميع الاحوال أن نتائج الطرق الحسابية في الكودات المختلفة تتباين قليلا أو كثيرا مع نتائج اختبارات تحميل الأوتاد كما رأينا سابقاً, وهذا ما يؤكد الحاجة إلى هذه التجربة .

ثانيا – تأثير قرينة ارتصاص الرمل في موقع التجربة :

تؤثر الكثافة النسبية للرمل الذي نفذ فيه الوتد بشكل حاسم على قيمة قوة التحمل الحدية في تجربة التحميل . لذلك وجدنا بمساعدة الاكسل علاقة خط الاتجاه التي أن تربط بين قرينة ارتصاص الرمل وبين قوة التحمل الحدية التجريبية له .



الشكل 9 : تأثير درجة ارتصاص الرمل على القيم المأخوذة من تجربة تحميل الأوتاد

يبين الشكل (9) العلاقة بين قرينة ارتصاص الطبقة الرملية في موقع التجربة وقيمة الحمولة الحدية المستقرأة من منحني التحميل, والمقصود بقرينة الارتصاص الكثافة النسبية الوسطية لكامل الطبقة الرملية المغروز فيها الوتد .

بالحل الرياضي المشترك بين علاقات الشكلين (8), و(9) عن طريق دمج العلاقات وإجراء بعض الاختصارات والتحويلات الرياضية الضرورية يتم الحصول على صيغة تقريبية لعلاقة قوة التحمل الحدية التجريبية :

$$Q_{u,p} = \gamma . e^{(\ln(\frac{\alpha}{\gamma}) + \beta . L)} \qquad (6)$$

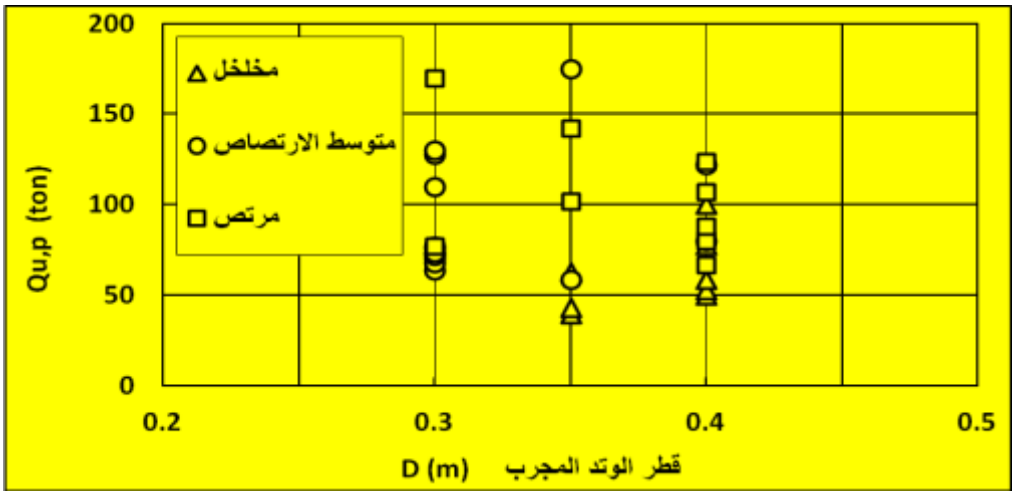
قيم الثوابت β , α , γ : مبينة على الجدول (1) :

الجدول 1 : قيم ثوابت المعادلة (6)

	α	β	γ
مخلخل	26.6	0.07	38.53
متوسط	39.25	0.079	38.53
مرتص	45.54	0.082	38.53

ثالثاً – تأثير قطر الوتد :

أجريت تجارب تحميل الأوتاد التي قيمنا نتائجها سابقا على أوتاد مسبقة الصنع بأقطار تتراح بين 30-40سم ولم نتمكن من إيجاد رابط بين نتائج تجارب التحميل التي قيمناها وبين قطر الوتد لكنّ المجال الضيق للاقطار المستخدمة في الأوتاد المدقوقة, وتجمع أغلب القيم في منطقة معينة من المخطط كما في الشكل (10) يجعل تأثير قطر الوتد المدقوق على النتائج قليلا لو قورن بتأثير طول الوتد ودرجة ارتصاص التربة الرملية .



الشكل 10 : العلاقة بين قطر الوتد المجرب وقوة التحمل الحدية في تجربة التحميل

لكن رغم ذلك لم يهمل هذا التأثير في الحساب, وروعي أن العلاقة بين قطر الوتد وقيمة قوة التحمل الحدية هي علاقة خطية نوعا ما لذلك عدلت المعادلة (6) تعديلا مناسباً لإدخال تأثير قطر الوتد في الحساب, وتأخذ المعادلة النهائية المقترحة لحساب قوة التحمل الحدية للاوتاد المدقوقة من أجل أوتاد باقطار لاتزيد عن 0,5م الشكل التالي :

$$Q_{u,p} = K_D . \gamma . e^{(\ln(\frac{\alpha}{38.53}) + \beta . L)} \qquad (7)$$

حيث :

K_D : عامل تصحيح مقترح يأخذ بالاعتبار تغير القطر . انظر جدول (2) .

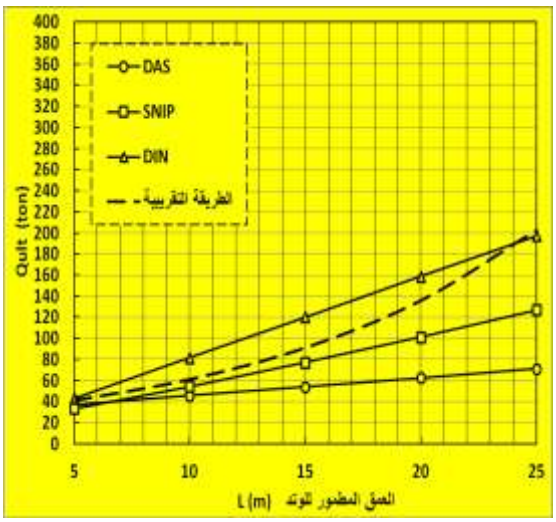
الجدول 2 : عامل تصحيح المعادلة (7)

قطر الوتد D	العامل K_D
0.25	0.5
0.3	0.6
0.35	0.7
0.4	0.8
0.45	0.9
0.5	1.0

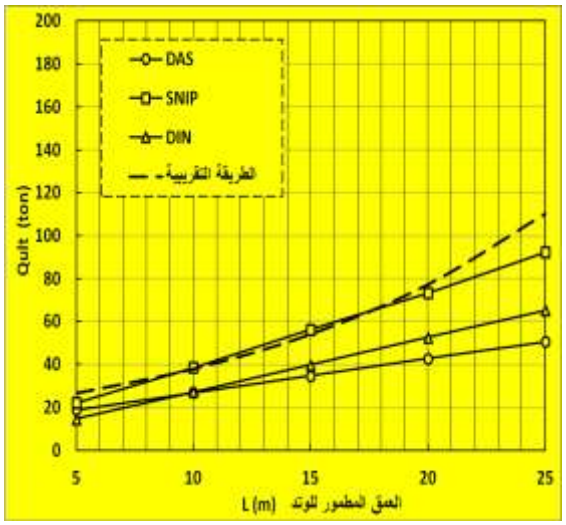
تحليل نتائج البحث :

ومن أجل مقارنة الطريقة التقريبية المقترحة (المعادلة (7)) مع نتائج الحساب ببعض الكودات العالمية (الالماني والروسي والامريكي), فقد حسبت أولا قيم المقاومات الحدية لأوتد بقطر 0,35م مطمورة في ترب رملية مختلفة الارتصاص (رمل مخلخل A, رمل متوسط الارتصاص B, رمل مرتص C), ومن ثم حسبت هذه القيم

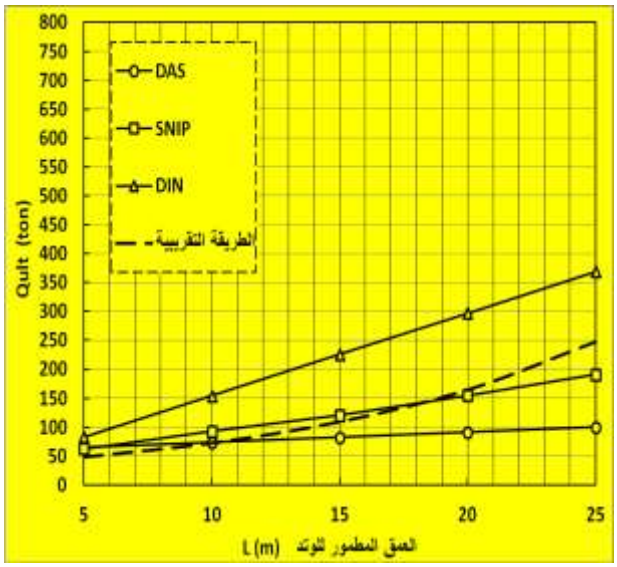
لنفس الحالات باستخدام المعادلة (7) المقترحة ويبين الشكل (12) مقارنة بين نتائج الحساب وفق الكودات ونتائج الحساب بالطريقة التقريبية .



A) الرمل المخلخل



B) الرمل المتوسط الارتصاص

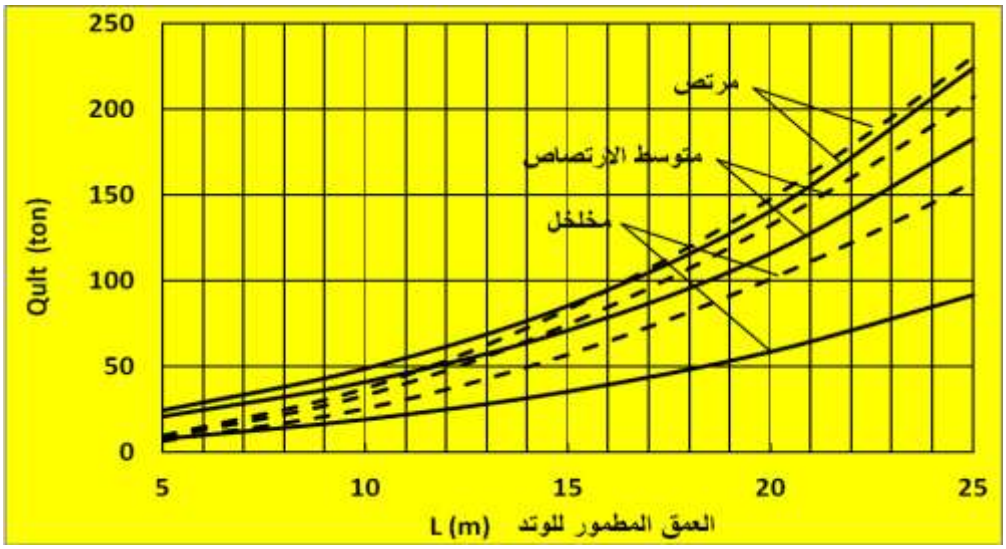


B) الرمل المرتص

الشكل 12 : قيمة قوة التحمل الحدية للوتد بدلالة طوله مقارنة بين الحساب بالمعادلة المقترحة والكودات العالمية

كما يمكن استخدام الطريقة التقريبية للحصول على قيم تقريبية لحصة مقاومة الوتد على الاحتكاك من مجمل الحمولة الحدية, فعند حذف طول الوتد L من المعادلة المذكورة تكون القيمة الناتجة في الحساب هي حصة مقاومة الوتد على الارتكاز فقط التي بعد طرحها من كامل قيمة المقاومة الحدية المحسوبة بالمعادلة السابقة (دون حذف الطول L) يتم الحصول على حصة الاحتكاك من قيمة المقاومة الحدية الكلية, وبالتالي يمكن بسهولة إجراء المقارنة مع طريقة KEZDI, برسم العلاقة بين مقاومة الاحتكاك الحدية للوتد بدلالة تغير الطول المغروز للوتد في الطبقة . يبين الشكل (13) قيم مقاومة الاحتكاك بحسب طول الوتد والمحسوبة بالمعادلة المقترحة (7) لوتد مدقوق بقطر (D=0,35m) لحالات الارتصاص المختلفة للرمل مع مقارنة هذه القيم بالقيم المحسوبة بمعادلة KEZDI .

إن مقارنة الطريقة التقريبة المقترحة بنتائج الحساب بالكودات العالمية كما في الشكل (12), أو مقارنتها بطريقة KEZDI التحليلية المعدلة كما يبين الشكل (13) (تمثل الخطوط المستمرة في الشكل الطريقة التقريبية والخطوط المنقطة طريقة KEZDI) تثبت أن الطريقة التقريبية المقترحة مقبولة ومرضية ويمكن اعتمادها بصيغتها الحالية مع التنويه إلى إمكانية تحسينها لاحقاً في أبحاث مقبلة أكثر تطورا وهذا يتوقف على عدد تجارب التحميل الاضافية التي قد تتوفر لدينا لاحقا رغم أن عدد اختبارات تجارب تحميل الأوتاد التي قيمها هذا البحث (أكثر من 30 تجربة تحميل) يشكل إلى حد ما بداية لاستنباط روابط مقبولة بين البارامترات المختلفة وإنشاء قاعدة معطيات مبدئية عن تجارب تحميل الأوتاد .



الشكل 13 : المقارنة بين الطريقة التقريبية المقترحة وطريقة KEZDI في حساب حصة الاحتكاك من مقاومة الوتد الحدية بدلالة الطول المغروز

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

- لاتتطابق قيمة قدرة التحمل الحدية المأخوذة من تجربة التحميل مع القيمة المحسوبة اعتماداً على الكودات العالمية أو وفق المعادلات النظرية الجاهزة .
- إن العلاقة بين الطول المغروز للوتد وبين قدرة تحمل الوتد الحدية كما يتبين لنا من نتائج البحث هي علاقة غير خطية على عكس الكودات المختلفة التي تعتبر هذه العلاقة خطية ويرجع ذلك إلى استعمال هذه الكودات لثوابت جدولية وعوامل حسابية متناسبة خطياً مع مقاومة الاحتكاك على جوانب الوتد .
- تتعلق قدرة التحمل الحدية للوتد المدقوق في الرمل بقرينة ارتصاص الرمل وبطول الوتد .
- لم نجد تأثيرا كبيرا لافتا لقطر الوتد على النتائج لأن مجال الاقطار المستخدمة في الأوتاد المدقوقة ضيق يتراوح بين 30سم و40 سم .
- يمكن الاعتماد على الطريقة التقريبية المقترحة في البحث وعلى المعادلتين (6), (7) في حساب قدرة التحمل الحدية للاوتاد المدقوقة في الرمل دون الحاجة لإجراء كثير من تجارب التحميل المكلفة .

التوصيات :

- إن عدم التطابق بين نتائج تجارب التحميل ونتائج الحساب بالطرق التحليلية يدفع إلى الاستمرار في البحث عن معادلات أو علاقات أكثر دقة تعطي قيما مقبولة لقدرة تحمل الوتد الحدية تعتمد على نتائج تجارب التحميل الحقلية, ويتم ذلك بالتقييم المستمر لتجارب التحميل المتوفرة والمحاولة المستمرة لتطوير هذه العلاقات إلى شكل أكثر دقة وكمالاً .
- مواصلة إجراء اختبارات تحميل إضافية في الترب الرملية وتجميع مزيد من نتائج تجارب تحميل الأوتاد المدقوقة في الرمل وإعادة تقييمها من أجل تحسين الطريقة المقترحة وتصويبها بشكل يجعل الاستنتاجات أكثر صواباً ومقبولية ويتيح تحسين البحث وتطويره وفتح آفاق جديدة فيه .
- اقتراح تجميع المعلومات حول تجارب تحميل الأوتاد لجميع أنواع التربة وليس للتربة الرملية فقط في بنك وطني للمعلومات تتشارك فيه الجامعات السورية يكون قاعدة معطيات صالحة للاستخدام من قبل الباحثين .
- تجميع المعلومات, والاستمرار في محاولة تطوير البحث وتعميمه على ترب أخرى غير التربة الرملية مثل الترب الغضارية المشبعة والترب المختلطة وعلى الرغم من تعقيد هذه المسالة وارتباطها بكثير من البارامترات إلا أنها تبقى مكملة لبحثنا هذا .

المراجع :

1. FRANK,H. : "*Grundbau I*", FH Gießen-Friedberg, 1991, 68.
2. Anhang C zur DIN 1054:2005-01. "*Charackteristische axial Pfahleiderstände aus Erfahrungswerten für gerammte Verdrängungspfähle*".2005, 103-106 .
3. DIN 1054:2005-01 : "*Zulässige Belastung des Baugrunds*" (Abschnitt 8 : Pfahlgründungen), 2005, 54 .
4. SNIP 2,02,03-85, Mockba 1996, 10-14 .
5. KEZDI, A. : "*Handbuch der Bodenmechanik. Bd. 2*", VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin, 1970, 170-172.
6. DAS,B. : *"Principles of Foundation Engineering"*, 6th edition, 2007,530-549.
7. DIN-18126 :1996-11 : " *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung*",1996 .