The Relative Contribution of the Raft in Carrying Piled Raft Foundation Loads

Dr. Thara'a Mubarak *

(Received 17 /3 / 2024. Accepted 5 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

The Piled Raft system is a geotechnical composite foundation consisting of piles and raft (hat), with a high capacity against collapse. In traditional methods of the design of piles such as that adopted in the Syrian Arabic code, it is assumed that the role of the raft is to transport the load for piles, the total loads transferred from the building are distributed to piles only and therefore a large number of piles, while if the contribution of the raft is taken into account it can reduce the number of piles and thus reduce the economic cost.

This research suggested a simplified method of calculating the contribution of the raft in carrying loads transferred from a previously studied building according to the Syrian Arab Code approach, this method relied on the principle of the additional impact of piles as raft pillars that reduce their settlement, this made the raft a judgment that contributed to the carrying of part of the loads, the raft's contribution rate to the suggested simplified method was 37.6% of the total load capacity, thus reducing the number of piles, meaning increasing the spacing between the pegs, this increases the efficiency of the work of the group of pegs in addition to reducing the economic cost. The suggested method was also compared with the Poulos method and the convergence between them reached 98.94%, the safety of the suggested method was also verified by calculating the safety factor according to Bandyopadhyay which reached FS_{PR} = 4.28.

Keywords: Piled Raft – contribution of the raft – pile capacity - SAFE

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Ph.D. - Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. tharaamub@yahoo.com

المساهمة النسبية للحصيرة (قبعة الأوتاد) في تحمل الأحمال المنقولة إلى أساسات الحصائر الوتدية

د. ثراء مبارك*

(تاريخ الإيداع 17 / 3 / 2024. قُبِل للنشر في 5/ 6 / 2024)

□ ملخّص □

نظام الحصيرة الوتدية هو نظام جيوتكنيكي مركب للأساسات يتكون من الأوتاد والحصيرة (القبعة)، له قدرة تحمل عالية ضد الانهيار. في الحالات التقليدية لتصميم الأوتاد كالطريقة المعتمدة في الكود العربي السوري، يتم افتراض أن الحصيرة عنصر إنشائي لنقل الحمولة للأوتاد أي أن الأحمال الكلية المنقولة من المنشأ تتوزع على الأوتاد فقط وبالتالي عدد كبير من الأوتاد، بينما إذا أخذت مساهمة الحصيرة في تحمل جزء من الحمولة الكلية يمكن أن يؤدي إلى تقليل عدد الأوتاد وبالتالي تقليل التكلفة الاقتصادية.

تم في هذا البحث اقتراح طريقة مبسطة لحساب مساهمة الحصيرة (قبعة الأوتاد) في تحمل الأحمال المنقولة لبناء مدروس سابقاً وفق الكود العربي السوري بحيث تتحمل الاوتاد الأحمال فقط، اعتمدت هذه الطريقة على مبدأ التأثير الإضافي للأوتاد كدعامات للحصيرة والذي يؤدي إلى تقليل هبوطها، وهذا ما جعل الحصيرة حكماً تساهم في تحمل جزء من الأحمال، حيث وصلت نسبة مساهمة الحصيرة الطريقة المبسطة المقترحة إلى 37.6% من تحمل الأحمال الكلية وبالتالي تقليل عدد الأوتاد أي زيادة التباعد بين الأوتاد وهذا يزيد من كفاءة عمل مجموعة الأوتاد بالإضافة إلى تخفيض التكلفة الاقتصادية، كما تم مقارنة الطريقة المقترحة مع طريقة Poulos ووصلت المقاربة بين الطريقتين إلى 98.94%، كما تم التحقق من أمان الطريقة المقترحة بحساب معامل الأمان وفق Bandyopadhyay والذي وصل إلى FS_{PR}=4.28.

الكلمات المفتاحية: الحصيرة الوتدية – مساهمة الحصيرة – قدرة تحمل الوتد– عامل الأمان FS_{PR}

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

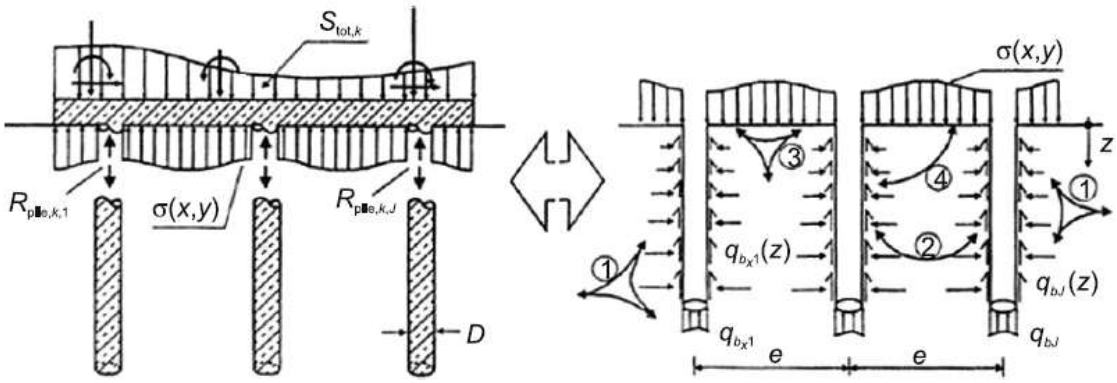
* دكتوراه – الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية. tharaamub@yahoo.com

مقدمة:

مع التوسع العمراني، والحاجة إلى بناء أبراج عالية إن كانت سكنية أو خدمية أو منشآت صناعية ثقيلة كمحطات الكهرباء الحرارية والتي نضطر إلى تشيدها في مواقع تربتها ضعيفة يكون هبوط التربة الكبير أحد المشاكل الأساسية لهذه التربة لذلك يتم اللجوء إلى استخدام حل التأسيس على حصيرة وتدية لنقل الاحمال الكبيرة من جهة والحفاظ على الهبوط ضمن الحدود المسموح بها.

نظام الحصيرة الوتدية هو نظام جيوتكنيكي مركب للأساسات يتكون من الأوتاد والحصيرة (القبعة) والتربة. في الحالات التقليدية لتصميم الأوتاد، يتم افتراض أن الأحمال الكلية يتم نقلها للأوتاد فقط عن طريق الحصيرة وبالتالي عدد كبير من الأوتاد بأطوال وأقطار تعتمد على نوع التربة. من ناحية أخرى، فإن أخذ مساهمة الحصيرة (القبعة) في الاعتبار يمكن أن يؤدي إلى تقليل عدد الأوتاد وبالتالي تقليل التكلفة الاقتصادية، حيث أن نظام حصيرة الأوتاد ككل المكون من الحصيرة والأوتاد له قدرة تحمل عالية ضد الانهيار[6-1].

والشكل (1) يوضح الأساسيات الخاصة بالعلاقة (الانفعال) المتبادل بين التربة والأوتاد وحصيرة الأوتاد والتي تحكم هذا النوع من الأساسات، ومن الجدير بالذكر أن المعايير الأساسية التي تحكم تصميم الحصيرة الوتدية تتضمن الجزء النسبي من الحمل الذي تتحمله الحصيرة [1] حيث أن التأثير الإضافي للأوتاد كدعامات في تقليل هبوط الحصيرة يجعل الحصيرة حكماً تساهم في تحمل جزء من الأحمال [2].



الشكل (1): التأثير المتبادل بين حصيرة – وتد – تربة [2]

في هذا البحث سيتم التركيز على الجزء النسبي من الحمل الذي تتحمله الحصيرة والذي تم إهماله في الكود العربي السوري والذي سيؤثر على التباعدات بين الأوتاد وبالتالي التقليل من عدد الأوتاد حيث كان هناك دراسات عديدة لدراسة تصميم الحصائر الوتدية والتأثير المشترك للحصيرة والأوتاد في تحمل الأحمال المنقولة من المبنى إلى الأساس حيث درس Poulos[1] السلوك المشترك للحصيرة مع الأوتاد وأجد معامل التفاعل بينهما α_{cp} (raft-pile interaction factor)، بإيجاد معامل التفاعل α_{cp} استطاع إيجاد نسبة مساهمة كل من الأوتاد والحصيرة في تحمل الأحمال الكلية واقترح Bandyopadhyay et.al [3] استراتيجية لحساب معامل الأمان لتصميم الحصائر الوتدية بطريقة اقتصادية، ولكن البحث الذي قام به Jamil[4] والذي جعلنا نتوقف عند آلية التصميم المقترحة في الكود العربي السوري حيث كانت النتيجة الأساسية لدراسته أن إهمال التأثير المشترك يؤدي إلى تصميم غير آمن.

"Most importantly, ignoring any interaction factor will cause inaccuracy of results and will lead to unsafe design"

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على استخدام برنامج ETABS, SAFE لنمذجة بناء برجي واقعي وأساساته موصى بحسب طبيعة تربة الموقع بتأسيسه باستخدام الأساسات العميقة (الأوتاد) لإيجاد الجزء النسبي من الحمل الكلي الذي تتحمله الحصيرة وتأثيره على عدد وتوزع الأوتاد، كما يقدم هذا البحث طريقة تحليلية مبسطة لحساب هذه المساهمة النسبية لحصيرة الأوتاد ومقارنتها مع طريقة [1] Poulos وحساب معامل الأمان لإدخال مساهمة الحصيرة بالحسابات وفق . Bandyopadhyay [3]

1- توصيف المشروع المدروس:

المشروع بناء سكني في مدينة طرطوس مؤلف من عشر طوابق، في البداية تم التحقق من طبيعة التربة المقام عليها هذا المشروع وبعد التحريات الحقلية ودراسة تربة الموقع والتي ظهرت كما يبين الجدول (1)

الجدول (1): مقطع في تربة موقع البناء

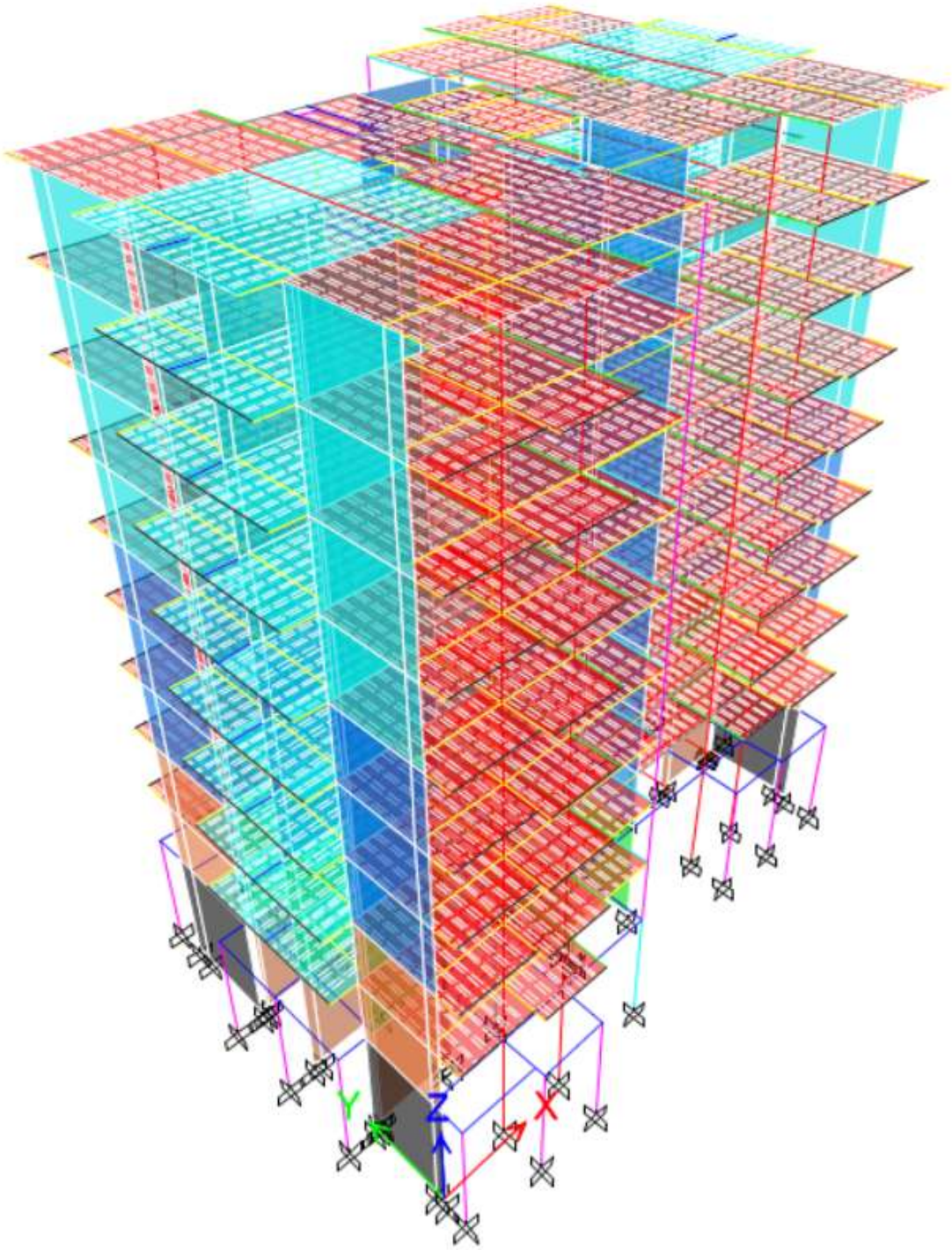
سماكة التربة (m)	وصف التربة
1	تربة زراعية مع حصى وزلط بحري
5	غضار سلتي زملي مع حصى مع رطوبة
2.5	غضار سلتي رملي رطب بشكل كبير متداخل مع عروق من الحجر الكلسي الرملي والمقاومة للحفر ضعيفة
11.5	كلس مارلي متماسك بشكل جيد يتخلله فواصل من الكلس المارلي الهش

وبحسب مواصفات تربة الموقع كان لابد من الوصول بالتأسيس إلى طبقة الكلس المارلي والتي تقع على عمق -8 8.5m بسبب أن الطبقة العلوية تحوي نسبة عالية من المواد العضوية تسبب هبوطات في التربة أثناء فترة الاستثمار، وعليه تم اعتماد أساسات وتدية تحقق اختراق في طبقة التأسيس بقيمة 6m وهذه كانت توصيات التقرير الجيوتكنيكي المرفق بالدراسة مرفقاً بمجموعة الاقتراحات للأوتاد بعد إدخال معاملات الأمان الجدول (2).

الجدول (2): الأوتاد المقترحة وفق تقرير التربة

طول الوتد (m)	قطر الوتد (cm)	قدرة تحمل الوتد المسموحة (للوتد الواحد)
15	90	101 ton
15	100	117 ton
18	90	144 ton
18	100	166 ton

تم نمذجة البناء في برنامج ETABS 2016 الشكل (2) وتصدير الأحمال المنقولة من المبنى إلى الأساسات إلى برنامج SAFE 2016 الشكل (3).



الشكل (2): نموذج البناء وفق برنامج ETABS

2- الحل الأول للأساسات الوتدية:

كان باعتماد طريقة الكود العربي السوري ملحق الأساسات [7] والذي يعتبر حصيرة الأوتاد القبعة عبارة عن ناقل وموزع للأحمال على الأوتاد فقط وبالتالي توزيع الأحمال الكلية للمبنى على الأوتاد بدون إدخال تأثير الحصيرة في تحمل أي جزء من الحمولة الكلية للمبنى باعتبار أن كل وتد يعرف بنابض [5] ، تم اعتماد ثابت صلابته وفق العلاقة (1)

$$K = P/\delta$$

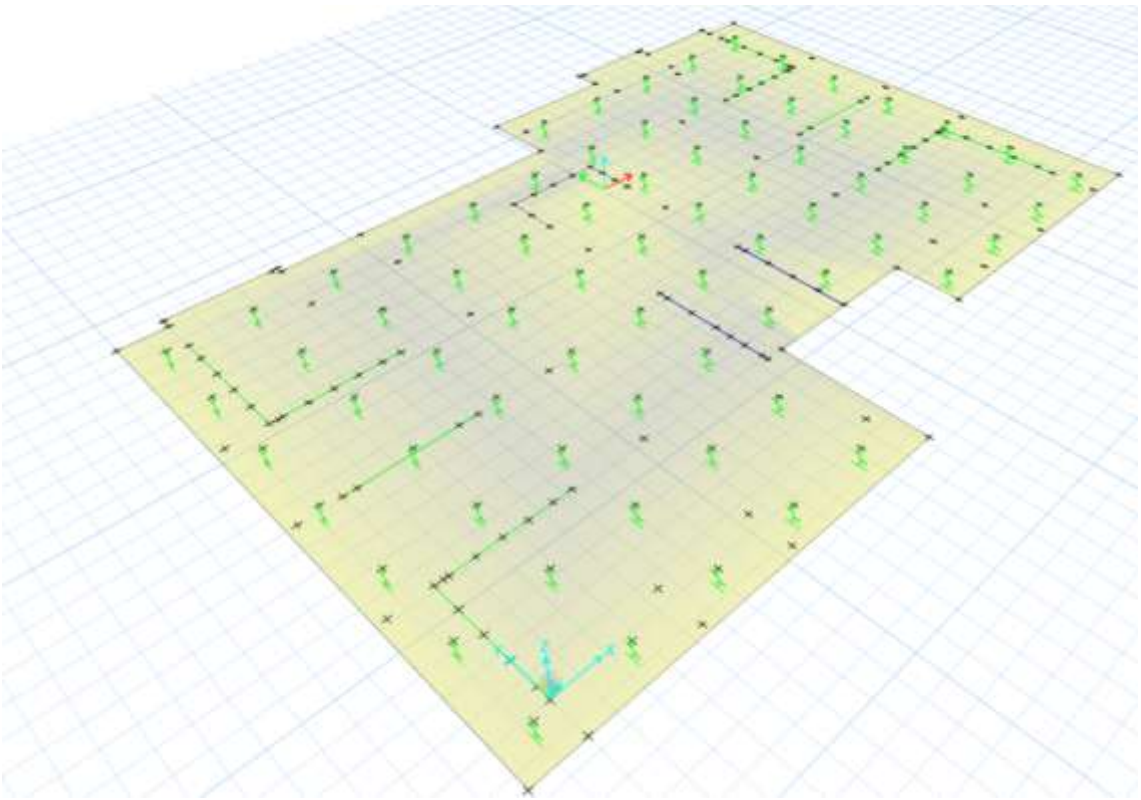
P: الحمولة الأعظمية التي يتحملها الوتد ضمن التربة التي سينفذ فيها.

δ: هبوط الوتد الموافق للحمولة الأعظمية P.

P, δ تعطى مرفقة بالتقرير الجيوتكنيكي لكل وتد مقترح بالجدول (2): وهو للوتد (D=1m, L=18m)
P=166.2ton , $\delta = 7.38cm$ وبالتالي يكون ثابت الصلابة للنابض (الوتد):

$$K = \frac{166.2}{0.0738} = 2252.032ton/m$$

وكان الحل بما يتوافق مع الكود (ملحق الأساسات) والمعمول بها بالتصميم الانشائي حالياً بحيث تتحمل الأوتاد كامل الحمولة وتقوم الحصيرة بنقل الأحمال فقط الشكل (2): قطر الوتد D=100 cm وطول L=18m والتباعد بين الأوتاد 2.7*D وبالتالي احتجنا إلى 74 وتد التباعد بين الأوتاد 2.7D وسماكة الحصيرة 1m وكانت الحمولات المنقولة على الأوتاد موضحة بالجدول (3) وكانت قيمة الهبوط الأعظمي للحصيرة الوتدية 6.9cm.



الشكل (3): تمثيل الأوتاد بنوابض وفق برنامج SAFE

3- الحل الثاني للأساسات الوتدية بإدخال نسبة مساهمة الحصيرة بتحمل الأحمال:

الطريقة المقترحة لحساب مساهمة الحصيرة (قبعة الأوتاد):

في هذه الطريقة اعتمدنا مبدأ مبسط لتصميم الحصيرة الوتدية بحيث حافظنا على هبوط الحصيرة مساوية لهبوط الأوتاد، ذلك بأن الحصيرة فعلياً تستند على الأوتاد فهبوطها محكوم بهبوط الأوتاد، وبالتالي فهي تعمل كحصيرة مستندة على دعامات (الأوتاد)، وهذا يسمح لنا باستخدام معادلة الهبوط المستخدمة في الدراسات الجيوتقنية للوصول إلى تحديد نسبة الأحمال التي تتحملها الحصيرة.

إذا تعتمد هذه الطريقة على:

1-تحديد هبوط الحصيرة الوتدية حيث تعمل الحصيرة على نقل الحمولة إلى الأوتاد.

2-اعتبار الحصيرة مستندة على دعامات وهي الاوتاد وهبوطها يساوي هبوط الحصيرة الوتدية.

3-حساب قدرة تحمل التربة الموافقة لهذا الهبوط.

4-حساب الحمولة التي تتحملها الحصيرة كنسبة من الحمولة الكلية.

في مشروعنا :

كانت قيمة الهبوط الأعظمي في الحصيرة الوتدية 6.9cm وبالتالي يمكن حساب القوة التي تتحملها الحصيرة الموافقة لهذا الهبوط (أي نعتبر الحصيرة محمولة على دعامات هي الأوتاد) :

$$S = qBI_0\frac{(1-\upsilon^2)}{E} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

S: هبوط الأساس.

q: الإجهاد الصافي الذي يتحمله الأساس.

B: عرض الأساس (البعد الأصغر لمسقط الأساس).

I_0: معامل يرتبط بشكل الأساس وصلابته لأساس مستطيل (0.99).

υ: معامل بواسون للتربة. E : معامل مرونة التربة سنأخذ معامل مرونة التربة الأصغر لطبقات التربة لصالح الأمان.

وبتعويض القيم العددية في المعادلة (3) نحصل على قيمة $q=0.0797N/mm^2$ أي أن الحمولة التي تتحملها الحصيرة (مساحة الحصيرة المدروسة $500m^2$)

$$P_r = 0.0797 \times 500 \times 10^6 \times 10^{-4} = 3987ton$$

وبالتالي النسبة التي تحملها الحصيرة من الحمولة الكلية:

$$\frac{P_r}{P} = \frac{3987}{10597} = 0.376$$

P: الحمولة الكلية المنقولة إلى الأساس (الحمولات المنقولة من المبنى مع الوزن الذاتي للحصيرة).

أي تتحمل الحصيرة 37.6% من قيمة الأحمال المنقولة إلى الأساسات الوتدية.

أي أن الحمولة التي تتحملها الأوتاد $P_p=6610ton$ ويكون عدد الأوتاد التي نحتاجها لتحمل هذه الحمولة تقريباً n=50 ، بعد إعادة توزيع الأوتاد من جديد بتباعد بين الأوتاد 3D سنحتاج وتد n=56 وهذا يزيد من كفاءة عمل مجموعة الأوتاد بالإضافة إلى تخفيض التكلفة الاقتصادية.

حساب مساهمة الحصيرة (قبعة الأوتاد) وفق Poulos:

درس[1] Poulos السلوك المشترك للحصيرة مع الأوتاد وأوجد معامل التفاعل بينهما α_{cp} (raft-pile interaction factor):

$$\alpha_{cp} = 1 - \frac{\ln(r_c - r_0)}{\zeta} \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث:

r_c : نصف قطر قبعة للوتد الواحد (2.7m في هذا المشروع)، r_0 : نصف قطر الوتد (1m).

$$\zeta = \ln(r_m - r_0); \quad r_m = \{0.25 + \xi[2.5\rho(1-\nu) - 0.25]\} * L$$

$$\xi = E_{S1}/E_{sb} \; ; \qquad \rho = E_{Sav}/E_{s1}$$

υ: معامل بواسون للتربة. E_{S1} : معامل مرونة التربة عند مستوى ارتكاز الوتد.

E_{sb} : معامل مرونة طبقة التربة الحاملة للأوتاد (أسفل الأوتاد)، باعتبار غرز الأوتاد ضمن طبقة الارتكاز لا يقل عن 6m بحسب توصيات الدراسة الجيوتكنيكية لطبيعة الأرض لذلك $E_{S1} = E_{Sb} = 22.5MPa$

E_{sav}: متوسط معامل مرونة طبقات التربة على طول الوتد (19.5 MPa).

وبالتعويض العددي بما يتوافق مع قيم البرامترات التي ذكرناها في المشروع في العلاقة () نجد قيمة معامل التفاعل بين الحصيرة والأوتاد:

$$\alpha_{cp} = 0.7214$$

بإيجاد معامل التفاعل α_{cp} نستطيع إيجاد نسبة مساهمة كل من الأوتاد والحصيرة في تحمل الأحمال الكلية المنقولة إلى الأساسات وذلك بتطبيق العلاقة (2):

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_r(1-\alpha_{cp})}{K_{Gp} + K_r(1-\alpha_{cp})} = X \qquad \ldots\ldots\ldots(2)$$

حيث:

P_r/P_t : نسبة الحمولة التي تتحملها الحصيرة من الحمولة الكلية المنقولة إلى الحصيرة الوتدية.

K_r: صلابة الحصيرة لوحدها بدون أوتاد مضروبة 0.75:

$$K_r = \frac{P_t}{s}$$

P_t: القوة الكلية المنقولة للأساس. s: هبوط الحصيرة .

والقيم الموافقة لهذا المشروع. (P_t=10597.41 ton, s=0.186 m)

K_{Gp}: صلابة مجموعة الأوتاد:

$$K_{Gp} = K_p \times \sqrt{n}$$

K_p : صلابة الوتد الواحد، n عدد الأوتاد.

وبالتعويض العددي في المعادلة (2) نجد قيمة X=0.38 أي أن الحصيرة تتحمل 38% من الحمولة الكلية.

بالمقارنة بين الطريقة المقترحة وطريقة Poulos نجد هناك تقارب لحساب نسبة مساهمة الحصيرة بمقدار 98.94%.

<u>هل يعتبر الحل بالطريقة المقترحة في هذا البحث آمناً:</u>

تم حساب معامل أمان نتائج الحصيرة الوتدية وفق الطريقة المقترحة مع البحث المقدم من قبل [3] Bandyopadhyay et.al والذي اقترح استراتيجية لحساب معامل الأمان لتصميم الحصائر الوتدية بطريقة اقتصادية حيث اعتمد الباحثون على:

1-حساب تحمل الحصيرة دون أخذ الهبوط بالحسبان (قبعة الأوتاد لوحدها) (Q_{UR}).

2-حساب تحمل الأوتاد بدون إدخال مساهمة الحصيرة في نقل الأحمال (Q_{GP}).

3-حساب الحمولة الكلية المنقولة من البناء Q.

4-حساب عامل أمان الحصيرة $FS_{UR} = Q_{UR}/Q$

سيتم حساب قدرة التحمل للتربة وفق معادلة ترزاكي:

$$Q_{UR} = q_{ult} = C \times N_c \times S_c + q \times N_q + 0.5 \times \gamma_b \times N_\gamma \times S_\gamma$$
$$= \left(1 + 0.3\frac{B}{L}\right) CN_C + \left(1 + 0.3\frac{B}{L}\right)\gamma_d D N_q + \left(1 - 0.3\frac{B}{L}\right)\gamma_b B N_\gamma \dots\dots (4)$$

حيث :

B عرض الأساس، L طول الأساس، C: تماسك التربة تحت الأساس (29.64 kN/m2) ، γb الوزن الحجمي للتربة تحت الأساس(15kN/m3) ، γd الوزن الحجمي للتربة فوق الأساس (13KN/m3).

(NC، Nq، Nγ) معاملات قدرة تحمل التربة حيث ترتبط هذه المعاملات بزاوية الاحتكاك الداخلي Ø=10 (NC=9.61، Nq =2.69، Nγ =0.56) .

وبالتعويض في المعادلة (4) نجد أن QUR=601.67 kN/m2

حساب قدرة تحمل الوتد من العلاقة التالية:

$$Q_{UTL} = CN_C A_P + \sum(\alpha C_u S \Delta L) - 0.5 S K \gamma_F \Delta L \times tan\delta \dots\dots (5)$$

c: تماسك التربة ضمن تربة إرتكاز رأس الوتد C=2.20 kg/cm2

NC : معامل قدرة تحمل التربة.

Ap: مساحة ارتكاز رأس الوتد.

α: معامل يتعلق بتلاصق بين التربة ومادة الوتد.

Cu: مقاومة القص غير المصرفة ضمن كل طبقة احتكاكية.

S,ΔL: محيط الوتد وطوله الجزئي ضمن كل طبقة.

K: معامل يتعلق بالضغط الفعال للتربة حول محيط الوتد يحسب تقريباً من العلاقة K=1-sinØ

γF: الوزن الحجمي للتربة ضمن كل طبقة.

tanδ: زاوية الاحتكاك بين التربة ومادة الوتد.

5-حساب عامل أمان مجموعة الأوتاد $FS_{GP}= Q_{GP}/Q$

6-حساب عامل أمان الحصيرة الوتدية

$$FS_{PR}=\eta\,(FS_{UR}+ FS_{GP})> 4 \quad \dots\dots\dots\dots (6)$$

حيث أن η معامل كفاءة الحصيرة الوتدية ويتراوح بين (0.7-1).

بالعودة إلى مشروعنا:

- حساب تحمل مجموعة الأوتاد 56 وتد التباعد بينها 3D (العدد الذي حصلنا عليه وفق الطريقة المقترحة) تحمل الوتد الواحد بدون معاملات أمان Q_P=473.8ton وبالتالي قدرة تحمل مجموعة الأوتاد Q_{GP}=26533ton.

– الحمولة الكلية المنقولة إلى الأساسات Q=10597 ton.

ـ لصالح الأمان سنعتبر معامل كفاءة الحصيرة الوتدية $\eta = 0.8$.

بتعويض القيم أعلاه في المعادلة (6) نجد: FS_{PR}=4.28 > 4 وبالتالي الحل المقدم وفق الطريقة المقترحة حل آمن واقتصادي.

ونلاحظ مما سبق أن الطريقة المقترحة في هذا البحث هي طريقة تعتمد على مبدأ التأثير الإضافي للأوتاد كدعامات للحصيرة يؤدي إلى تقليل هبوطها مما يجعل الحصيرة حكماً تساهم في نقل الأحمال، وهي طريقة آمنة واقتصادية.

كيف يمكن الاعتماد على برنامج SAFE لتوزيع الأوتاد مع إدخال المساهمة النسبية للحصيرة في تحمل الحمولات الكلية.

بعد نقل الأحمال من نموذج ETABS إلى برنامج SAFE وتعريف ونمذجة الحصيرة ونوابض الاوتاد كما شرحنا في الفقرة (2) نقوم بتعريف معامل رد فعل التربة والذي يتم حسابه كالتالي:

من المعادلة المبسطة وجدنا قيمة الحمولة المنقولة إلى التربة عن طريق الحصيرة الوتدية $q=0.0797N/mm^2$

وبحساب معامل رد فعل التربة:

$$K_S=120*q(ton/m^2) = 956.4ton/m^3$$

ثم يتم طرح قيمة ثابت النابض للوتد (مقسومة على مساحة تحميل الوتد) من Ks حتى لا يكون هناك تراكب لتأثيري صلابة التربة مع صلابة النابض

ثابت النابض للوتد =

$$K_P = \frac{2252.032}{2.7 * 2.7} = 308.9ton/m^3$$

وبالتالي معامل رد فعل التربة التي ستستند عليها حصيرة الأوتاد بعد تقسيمها على عامل أمان 3:

$$K_{SP}=(K_S-K_P)/3=215.83\ ton/m^3$$

بحيث يتم تعويض معامل رد فعل التربة بنوابض مساوية K_{SP}

وجدنا القيم التالية لتوزع الحمولات على الأوتاد كما يوضح الجدول (3)

الجدول (3): توزع الأحمال على الأوتاد

الأحمال المنقولة على الأوتاد		
رقم الوتد	دون إدخال تأثير الحصيرة	بإدخال تأثير الحصيرة
	Fz(Ton)	Fz(Ton)
1	144.34	88.8976
2	148.92	94.8159
3	151.50	96.9312
4	150.82	95.9313
5	148.33	93.3732
6	147.95	93.6448
7	149.52	95.5488
8	149.40	96.0208
9	146.69	92.464
10	142.42	89.0886
11	145.98	91.7939

12	143.02	90.0057
13	140.73	89.3163
14	138.15	86.7945
15	133.40	84.6923
16	127.20	79.0116
17	131.35	80.9549
18	137.18	85.3145
19	141.65	87.2862
20	144.13	88.901
21	146.07	88.7061
22	147.82	90.34
23	148.65	90.4111
24	140.06	86.8884
25	144.64	90.1354
26	147.88	92.0196
27	148.87	91.952
28	134.34	85.2688
29	140.07	88.5775
30	144.53	91.4796
31	147.12	93.8529
32	148.62	93.9983
33	149.52	94.0721
34	149.26	94.1757
35	148.43	94.2742
36	146.49	93.6422
37	142.51	91.0658
38	137.42	87.1487
39	133.34	83.4768
40	139.26	87.3382
41	144.12	91.3141
42	147.54	93.7203
43	150.00	92.4427
44	151.43	95.6651
45	151.02	93.5003
46	149.29	94.6575
47	146.42	92.9645
48	141.56	89.3722
49	135.57	85.1059
50	134.74	84.2734
51	141.17	88.8873
52	146.50	91.6642
53	149.99	94.2866
54	152.50	95.4016
55	153.33	95.6717
56	150.60	93.912
57	145.81	90.9523
58	140.77	88.108

59	134.51	84.112
60	127.62	79.3549
61	120.70	74.0675
62	128.65	79.63
63	136.05	84.5312
64	142.41	88.3607
65	132.70	82.6246
66	139.64	87.584
67	145.41	90.7588
68	149.18	93.4376
69	152.13	94.7383
70	150.54	96.0775
71	147.39	94.3972
72	143.59	91.5968
73	137.30	88.0213
74	129.70	79.1453
الحمل الكلي المنقول للأوتاد	10597.41	6649.94

وكما نلاحظ من الجدول السابق أن نسبة الأحمال التي من الممكن أن تتحملها الحصيرة 37.25% من الأحمال الكلية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم في هذا البحث اقتراح طريقة مبسطة لحساب مساهمة الحصيرة (قبعة الأوتاد) في الحصائر الوتدية في تحمل الأحمال المنقولة إلى الأساس تعتمد عل حساب قدرة تحمل الحصيرة لوحدها عند هبوط مساو لهبوط الحصيرة الوتدية ومقارنتها مع طريقة Poulos ومع طريقة ادخال معامل رد فعل التربة مع ثابت النابض للوتد في برنامج SAFE وتم التحقق من أمان واقتصادية هذه الطريقة وفق Bandyopadhyay وتوصلنا إلى النتائج التالية:

1-مساهمة الحصيرة وفق الطريقة المبسطة المقترحة وصلت إلى 37.6% من تحمل الأحمال الكلية وبالتالي تقليل عدد الأوتاد أي زيادة التباعد بين الأوتاد وهذا يزيد من كفاءة عمل مجموعة الأوتاد بالإضافة إلى تخفيض التكلفة الاقتصادية.

2-تتوافق نتائج الطريقة المبسطة في تقدير نسبة مساهمة الحصيرة مع طريقة Poulos حيث وصلت هذه النسبة إلى 38% من تحمل الحمولات الكلية .

3-كان هناك تقارب في حساب نسبة مساهمة الحصيرة وفق طريقتي Poulos و الطريقة المبسطة المقترحة في هذا البحث ومع طريقة ادخال معامل رد فعل التربة و ثابت النابض للوتد في برنامج SAFE حيث وصلت نسبة مساهمة الحصيرة في هذه الطريقة إلى 37.25%.

4-تم التحقق من أمان الطريقة المبسطة المقترحة في هذا البحث بحساب عامل الأمان وفق Bandyopadhyay حيث وصل معامل الأمان للحصيرة الوتدية إلى قيمة 4.28.

التوصيات:

يبقى هذا البحث في هذا المجال ضمن الخطوات الأولى التي تحتاج إلى إجراء مزيد من الأبحاث نأخذ فيها تأثير كل أنواع الترب، بالإضافة إلى دراسات دقيقة للسلوك التفاعلي بين تربة – وتد– حصيرة لنضع استراتيجية لحساب مساهمة كل من الأوتاد والحصيرة في الأساسات الوتدية يتم اعتمادها في الكود العربي السوري تحقق الأمان والاقتصادية معاً.

References:

[1] H.G.Poulos: *Piled raft foundations - Design and applications*, Geotechnique, Vol. 51(2) (2001), pp. 95-113.

[2] B. Kutera, G. Kacprzak, The *sile stiffness in piled-raft foundation*, Technical Transactions, 2-B (2013),pp.60-69

[3] S. Bandyopadhyay, A. Sengupta, Y.M. Parulekar, *Behavior of a combined piled raft foundation in a multi-layered soil subjected to vertical loading*, Geomechanics and Engineering, Vol. 21, No. 4(2020). pp. 379-390

[4] I. Jamil, I. Ahmad, M. Khan, S. Khan, *A Parametric Study on the Interaction factors of Pile-Raft System, Himalayan* Earth Sciences Vol 55, No. 1 (2022) pp. 14-24

[5] T. Reshma, B. Bhavya, M. Rashmi, S. Sankalpasri, Behavior *of Piles with Raft Foundation using Safe Software*, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Vol.8 (2019), pp. 1432-1436

[6] A. Kumar, D. Choudhury. "*Development of new prediction model for capacity of combined pile–raft foundations*." Computers and Geotechnics.Vol.97(2018), pp62–68.

[7] The Syrian Arab Code for the Design and Implementation of Reinforced Concrete Structures - Appendix Five Foundation Code –