Design of Piled-Raft using PLAXIS 3D

Dr. Thara'a Mubarak *

(Received 9 / 10 / 2024. Accepted 22 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

The traditional design of piles in the foundations of piled-raft buildings assumes that the total loads of the building are distributed only to the piles, and the role of the raft as a structural element that transfers the load to the piles is limited only, as the method adopted in the Syrian Arab code. Therefore, many piles increase the economic cost of piled-raft foundations.

In this research, the pilled-raft of a 16-story residential building in Latakia was modeled using the PLAXIS 3D program to determine the percentage of the contribution of both the raft and the piles from the total loads of the building and compared with the proposed simplified method of calculating the contribution of the raft, which is based on the principle of the additional effect of the piles as raft columns, which reduces their settlement, the raft's contribution reached 21.11%, thus reducing the number of piles, which became 99 piles with 2m spacing instead of 120 piles with 1.8m spacing in the case of neglecting the raft's contribution, It is possible to consider this method safe to use compared to the Poulos method, which gave a higher percentage of the raft contribution, reaching 36.8%, compared to the analytical model of PLAXIS 3D program, which reached 28.36%.

Keywords: Piles– contribution of the raft – PLAXIS 3D- simplified method

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

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

تصميم الحصائر الوتدية باستخدام برنامج PLAXIS 3D

د. ثراء مبارك*

(تاريخ الإيداع 9 / 10 / 2024. قُبِل للنشر في 22/ 12 / 2024)

□ ملخّص □

يفترض التصميم التقليدي للأوتاد في أساسات الحصائر الوتدية، أن الأحمال الكلية المنقولة من المنشأ تتوزع على الأوتاد فقط ويقتصر دور الحصيرة كعنصر إنشائي ينقل الحمولة للأوتاد فقط كالطريقة المعتمدة في الكود العربي السوري، وبالتالي عدد كبير من الأوتاد، وهذا بدوره يزيد من الكلفة الاقتصادية لأساسات الحصائر الوتدية.

تم في هذا البحث نمذجة الحصيرة الوتدية لبناء سكني مؤلف من 16 طابق في منطقة ستمرخو في اللاذقية بالاستعانة ببرنامج PLAXIS 3D لتحديد نسبة مساهمة كل من الحصيرة والأوتاد من الأحمال الكلية المنقولة من المبنى ومقارنتها مع الطريقة المبسطة المقترحة لحساب مساهمة الحصيرة والتي تعتمد على مبدأ التأثير الإضافي للأوتاد كدعامات للحصيرة والذي يؤدي إلى تقليل هبوطها، حيث وصلت نسبة مساهمة الحصيرة فيها 21.11% من مجموع الحمولات الكلية وبالتالي تقليل عدد الأوتاد ليصبح 99 وتد بقطر 60cm بتباعد 2m بدلاً من 120 وتد بتباعد 1.8m، ومن الممكن اعتبار هذه الطريقة آمنة للاستخدام بمقارنتها بطريقة Poulos والتي أعطت نسبة أكبر لمساهمة الحصيرة وصلت إلى 36.8% مقارنة بالنموذج التحليلي الدقيق وفق برنامج PLAXIS 3D والتي وصلت فيه 28.36%.

الكلمات المفتاحية: الأوتاد– PLAXIS 3D – مساهمة الحصيرة – طريقة مبسطة

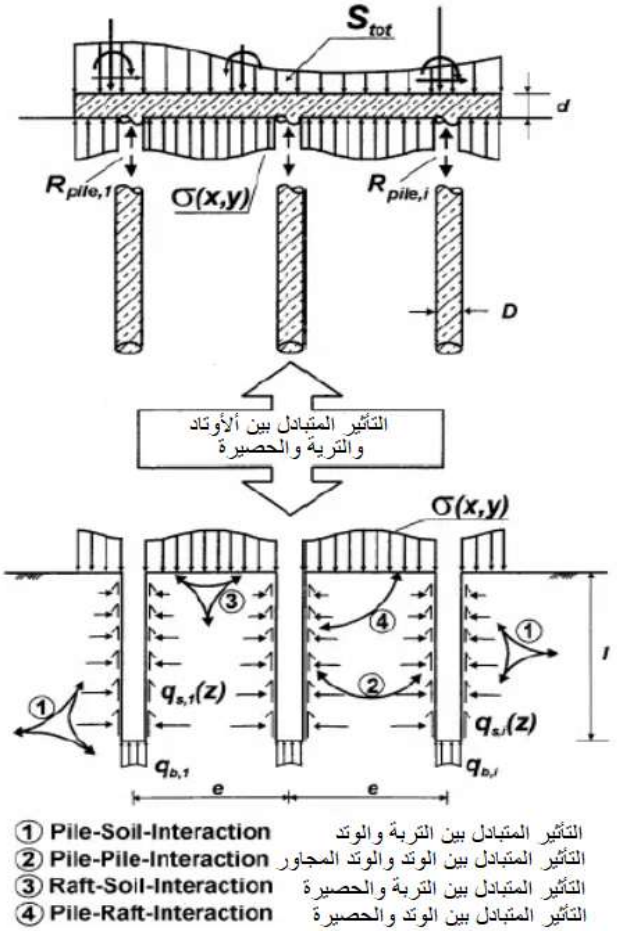
حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

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

مقدمة:

تعتبر الحصيرة الوتدية أساس مركب مكون من الأوتاد والحصيرة (القبعة). في الحالات التقليدية لتصميم الأوتاد، يتم افتراض أن الأوتاد تتحمل لوخدها الأحمال الكلية المنقولة من المبنى، ويقتصر دور الحصيرة كناقل للأحمال من المبنى إلى الأوتاد، وبالتالي يحتاج أي بناء إلى عدد كبير من الأوتاد بأطوال وأقطار تعتمد على نوع التربة، ولكن في حال أخذ مساهمة الحصيرة (القبعة) في الاعتبار يمكن أن يؤدي إلى تقليل عدد الأوتاد وبالتالي تقليل التكلفة الاقتصادية، حيث أن نظام حصيرة الأوتاد ككل له قدرة تحمل عالية ضد الانهيار[8-1] .

الشكل (1) يوضح الاجهادات المتبادلة بين التربة والأوتاد والحصيرة 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]

يركز هذا البحث على تحديد الجزء النسبي من الحمل الذي تتحمله الحصيرة، والذي لقي اهتماماً متزايداً من قبل الباحثين في مختلف أنحاء العالم ولكن تم اهماله في الكود العربي السوري، والذي سيؤثر على التباعدات بين الأوتاد وبالتالي التقليل من عددها، حيث درس Poulos [1] السلوك المشترك للحصيرة مع الأوتاد وأجد معامل التفاعل بينهما

α_{cp} (raft–pile interaction factor)، وبإيجاد معامل التفاعل α_{cp} استطاع إيجاد نسبة مساهمة كل من الأوتاد والحصيرة في تحمل الأحمال الكلية، كما أجرى Sami [3] دراسة تحليلية وفق برنامج PLAXIS 3D لدراسة مساهمة الحصيرة ووجد أن نسب مساهمة الحصيرة تتراوح بين 12–40% من الأحمال الكلية وتعتمد هذه النسبة على نوع التربة، كما اقترح الباحث Mubarak [4] طريقة مبسطة لحساب نسبة مساهمة الحصيرة في تحمل جزء من الحمولات معتمداً على أن الحصيرة تستند على الأوتاد، وبالتالي فهي تعمل كحصيرة مستندة على دعامات (الأوتاد)، فهبوطها محكوم بهبوط الأوتاد، ولكن النتيجة الأساسية التي توصل لها Jamil [5] وناقشها Aniruddha [6] والذي جعلنا نتوقف عند آلية التصميم المقترحة في الكود العربي السوري أن إهمال التأثير المشترك يؤدي إلى تصميم غير آمن بسبب تداخل الاجهادات بين الأوتاد المتقاربة وحدوث انهيارات موضعية للتربة بين الأوتاد قبل وصول الوتد إلى قدرة تحمله الكلية.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على المنهج التحليلي باستخدام برنامج ETABS, SAFE, PLAXIS 3D لنمذجة بناء عالي مؤلف من 16 طابق مدروس لتحمله أساسات عميقة (أوتاد)، لإيجاد الجزء النسبي من الحمل الكلي الذي تتحمله الحصيرة وتأثيره على عدد وتوزع الأوتاد، كما تم في هذا البحث التحقق من كفاءة وأمان الطريقة المقترحة المبسطة من قبل Mubarak [4] والتي تسهل على الدارس الانشائي حساب هذه المساهمة النسبية لحصيرة الأوتاد بالاعتماد على معطيات التقرير الجيوتكنيكي للمشروع.

1- توصيف المشروع المدروس والدراسة الجيوتكنيكية للموقع:

المشروع بناء سكني في ستمرخو في مدينة اللاذقية مؤلف من ستة عشر طابق المساحة الطابقية ($316\ m^2$) ومجموع الأحمال الحية والميتة المنقولة من المبنى (P_t=10029 ton)، مساحة القبعة ($374m^2$).

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 للسبور تحت الكتلة المدروسة BH1,BH2
21.5	سيلت غضاري حواري لونها رمادي مزرق متشققة تحوي أثار قواقع وقليل من الرمل الناعم ويمكن تشكيل فتائل منها بالرطوبة الطبيعية. وتمتد هذه الطبقة حتى نهاية السبر ويتوقع استمرارها مع العمق.

- حساب قدرة تحمل التربة:

تم حساب قدرة تحمل التربة من قبل الدارس الجيوتكنيكي للمشروع اعتماداً على نتائج تجربة الضغط البسيط ووفق أصغر قيمة لنتائج تجربة الضغط البسيط: q_u=3.00 kg/cm^2 → C=1.5 kg/cm^2

وبما أن التربة سيلتية غضارية حوارية استخدم معادلة Skempton مع إهمال الاحتكاك

$$q_{ult}=C\times N_c+\gamma\times D_f$$

بحيث تكون قدرة التحمل المسموحة للتربة بعامل أمان 3:

من أجل أساس مستمر (N_c=5.2) q_{all} =2.7 kg/cm^2

من أجل أساس مربع (N_c=8) q_{all} =4.1 kg/cm^2

اعتمد في كل الحالات الاجهاد المسموح بنقله للتربة (q=2.5 kg/cm^2) من أجل حساب الهبوط

- **حساب الهبوط:**

تم التحقق من الهبوط وفق علاقة الهبوط الآني بالاعتماد على العلاقة المرنة:

$$S=q_{net}\, B\, I_0\, (1-\upsilon^2)/E$$

S: هبوط الأساس.

q: الإجهاد الصافي الذي يتحمله الأساس.

B: عرض الأساس (البعد الأصغر لمسقط الأساس (20m)).

I_0: معامل يرتبط بشكل الأساس وصلابته لأساس شبه مربع (0.88).

υ: معامل بواسون للتربة (0.35) .

E : معامل مرونة التربة تم اعتماده بشكل تقريبي 100kg/cm^2 وفق نتائج SPT [9] وقيم N_{55} يحسب بالعلاقة:

$$E=300\ (N+6) =300(27+6) = 9900kPa = 99kg/cm^2$$

وبالتالي تكون قيمة الهبوط (24cm) تحت الحصيرة بأبعاد (20x20m) بعمق للتأسيس 5m ووزن حجمي طبيعي للتربة المزاحة 1.85t/m^3

وهو هبوط غير مقبول في الحصائر لذلك أوصى الدارس الجيوتكنيكي باستخدام أساسات عميقة، واقترح استخدام أوتاد بقطر 60cm وطول الوتد 15m وقدرة تحمل 100 ton وهبوط للوتد 8.3cm.

2- دراسة الحصيرة الوتدية:

2-1- الدراسة الإنشائية التقليدية للمشروع:

تم نمذجة البناء في برنامج ETABS الشكل (2) وتصدير الأحمال المنقولة من المبنى إلى الأساسات إلى برنامج SAFE، ليتم توزيع الأوتاد لمعرفة عددها والتباعد بينها 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 [10]، حيث يمثل كل وتد بنابض [8] [11] .

تم اعتماد ثابت صلابته وفق العلاقة (1):

$$K = \frac{P}{\delta} \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

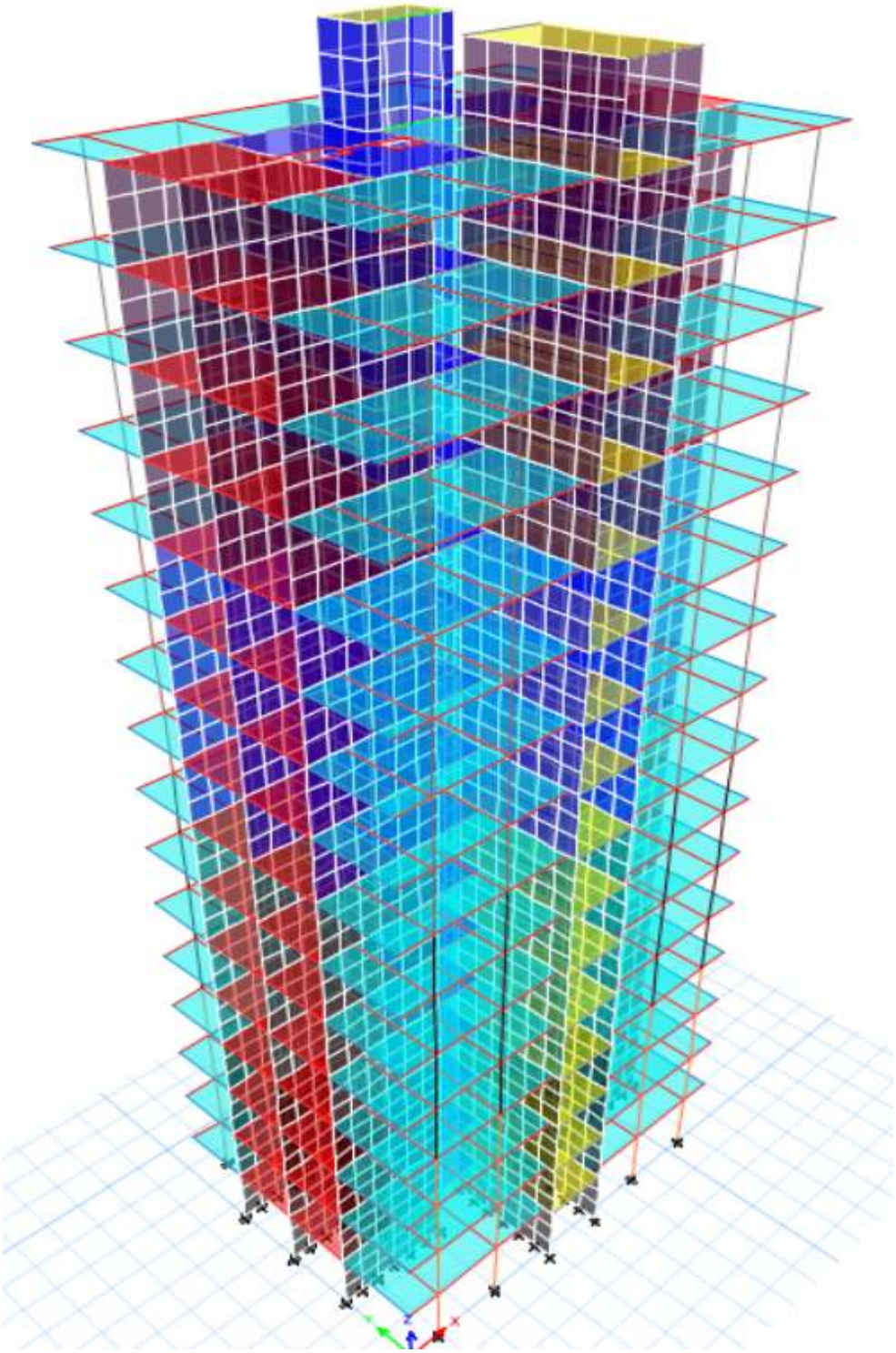
P: الحمولة الأعظمية التي يتحملها الوتد ضمن التربة التي سينفذ فيها.

δ: هبوط الوتد الموافق للحمولة الأعظمية P.

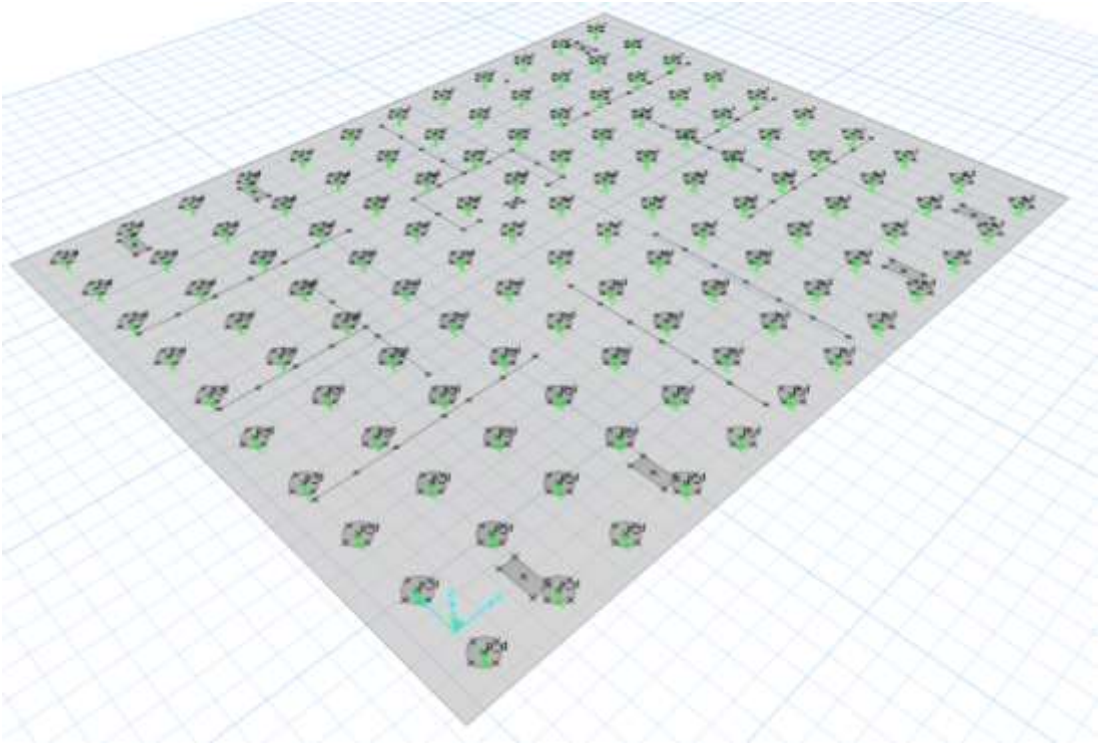
P=100 ton, $\delta = 0.083m$ تؤخذ من الدراسة الجيوتكنيكية للمشروع.

يظهر الشكل (3) توزع الأوتاد ضمن برنامج SAFE: الأوتاد بقطر D=60 cm وطولها L=15 m كما هو وارد في التقرير الجيوتكنيكي، وتم اختيار التباعد بين الأوتاد (3D=1.8m) وسماكة الحصيرة 1.5m بما يتوافق مع شكل المنشأ وتوزع وتركز الحمولات بحيث لا تتجاوز حصة كل وتد من الحمولات المنقولة قيمة الحمولة القصوى للوتد (100

ton)، وبهذه الطريقة كان عدد الأوتاد المطلوبة 120 وتد بتباعد 1.8m وكانت قيمة الهبوط الأعظمي للحصيرة الوتدية 7.3 cm (تم الحصول على هذه القيمة من نموذج SAFE).



الشكل (2): نموذج البناء وفق برنامج ETABS



الشكل (3): تمثيل الأوتاد بنوابض وفق برنامج SAFE

2-2-الطريقة المقترحة لحساب مساهمة الحصيرة (قبعة الأوتاد) [4] :

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ مبسط لحساب مساهمة حصيرة الأوتاد حيث أنها تستند على الأوتاد، وبالتالي فهي تعمل كحصيرة مستندة على دعامات (الأوتاد)، فهبوطها محكوم بهبوط الأوتاد، لذلك تم استخدام علاقة الهبوط المستخدمة في الدراسات الجيوتكنيكة 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 7.3cm وبالتالي يمكن حساب القوة التي تتحملها الحصيرة الموافقة لهذا الهبوط (أي نعتبر الحصيرة محمولة على دعامات هي الأوتاد) :

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

S: هبوط الأساس.

q: الإجهاد الصافي الذي يتحمله الأساس.

B: عرض الأساس (البعد الأصغر لمسقط الأساس (16.7m)).

I_0: معامل يرتبط بشكل الأساس وصلابته لأساس مربع (0.88).

υ: معامل بواسون للتربة (0.35) . E : معامل مرونة التربة ($100\ kg/cm^2$)

وبتعويض القيم العددية في المعادلة (3) نحصل على قيمة $q=0.566\ kg/cm^2$ أي أن حمولة الحصيرة (مساحة الحصيرة المدروسة $374m^2$) $P_r = 2117.7\ ton$.

وبالتالي النسبة التي تحملها الحصيرة من الحمولة الكلية:

$$P_r/P = 2117.7/10029 = 21.11\%$$

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

أي تتحمل الحصيرة 21.11% من قيمة الأحمال المنقولة إلى الأساسات الوتدية.

أي أن الحمولة التي تتحملها الأوتاد $P_p=7891.3\ ton$ ، وبعد التوزيع الجديد للأوتاد ضمن برنامج SAFE بما يتناسب مع هذه الأحمال وأماكن تركز الحمولات في المبنى كان عدد الأوتاد 99 وتد بتباعد 2m.

وبالتالي زيادة التباعد بين الأوتاد وهذا يزيد من كفاءة عمل مجموعة الأوتاد بالإضافة إلى تخفيض التكلفة الاقتصادية.

2-3- حساب مساهمة الحصيرة (قبعة الأوتاد) اعتماداً على برنامج PLAXIS 3D

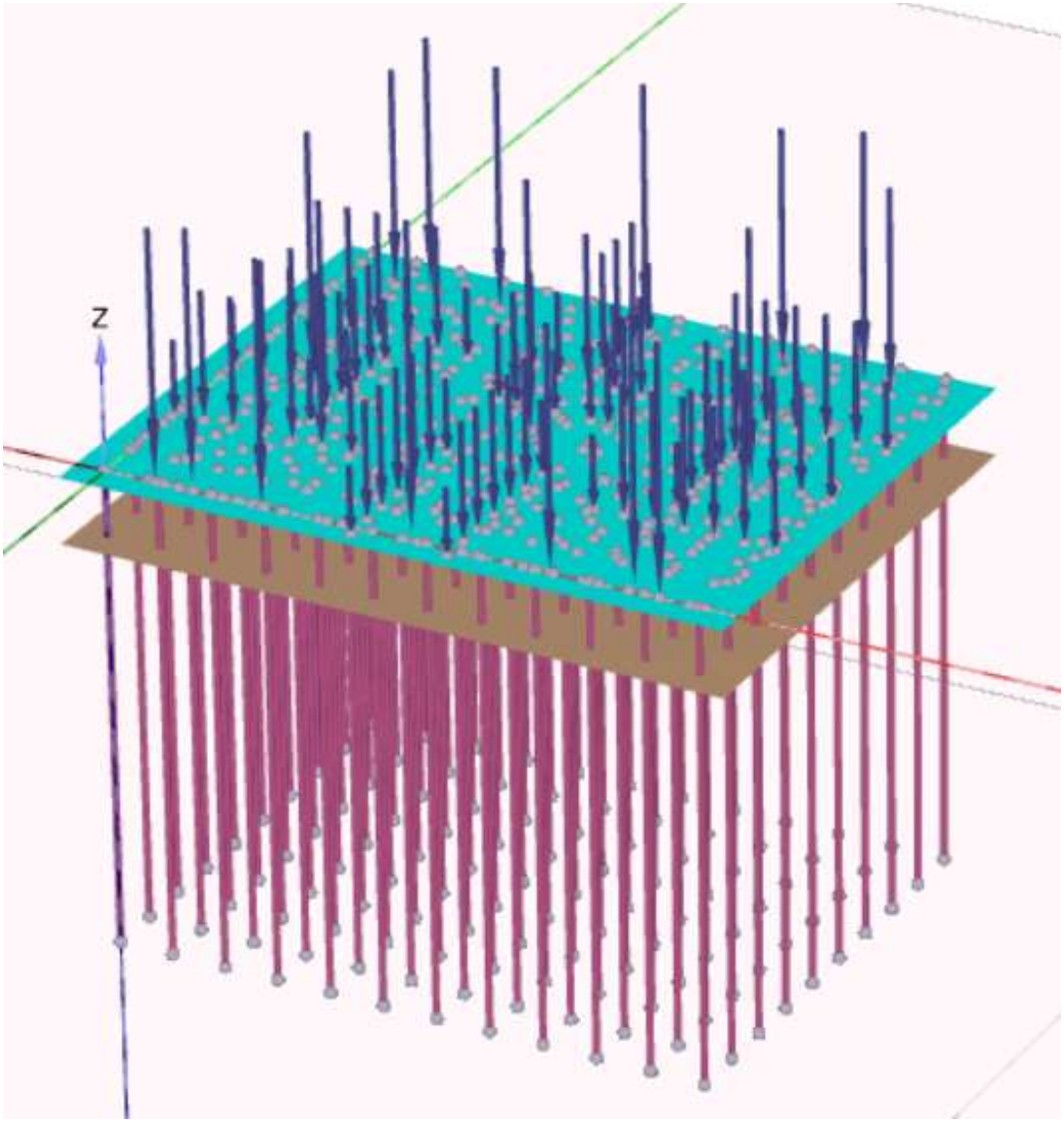
تم تصدير الاحمال المنقولة إلى الأساسات من المبنى من برنامج ETABS إلى برنامج PLAXIS 3D ومن ثم تم نمذجة مكعب التربة (80x80x30m) ونمذجة الحصيرة والأوتاد كما يظهر الشكل (4)، بيانات (مدخلات) النموذج في الجدولين (2) (3):

الجدول (2): خواص نموذج التربة:

نوع التربة	سيلت غضاري حواري لونها رمادي مزرق
نموذج المادة	مور كولومب (Coulomb Mohr)
الوزن الحجمي الجاف	$15.10\ kN/m^3$
الوزن الحجمي المشبع	$19.50\ kN/m^3$
معامل المرونة	$10000\ kN/m^2$
زاوية الاحتكاك الداخلي	21^o
معامل بواسون	0.35
التماسك	$70\ kN/m^2$

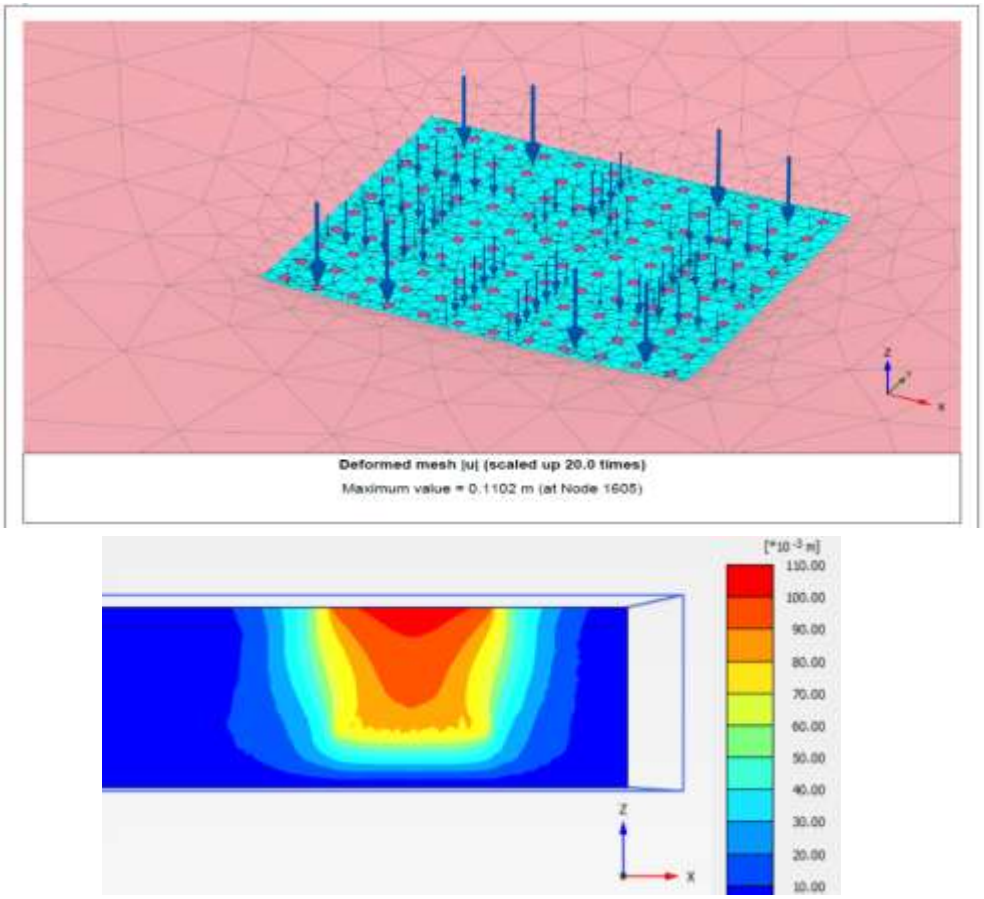
الجدول (3): خواص نموذج الحصيرة والأوتاد:

معامل المرونة	$11.06*10^6\ kN/m^2$
قطر الوتد	60 cm
طول الوتد	15 m
التباعد بين الأوتاد	1.8 m
أبعاد القبعة	16.7*22.4 m
سماكة القبعة	1.5 m

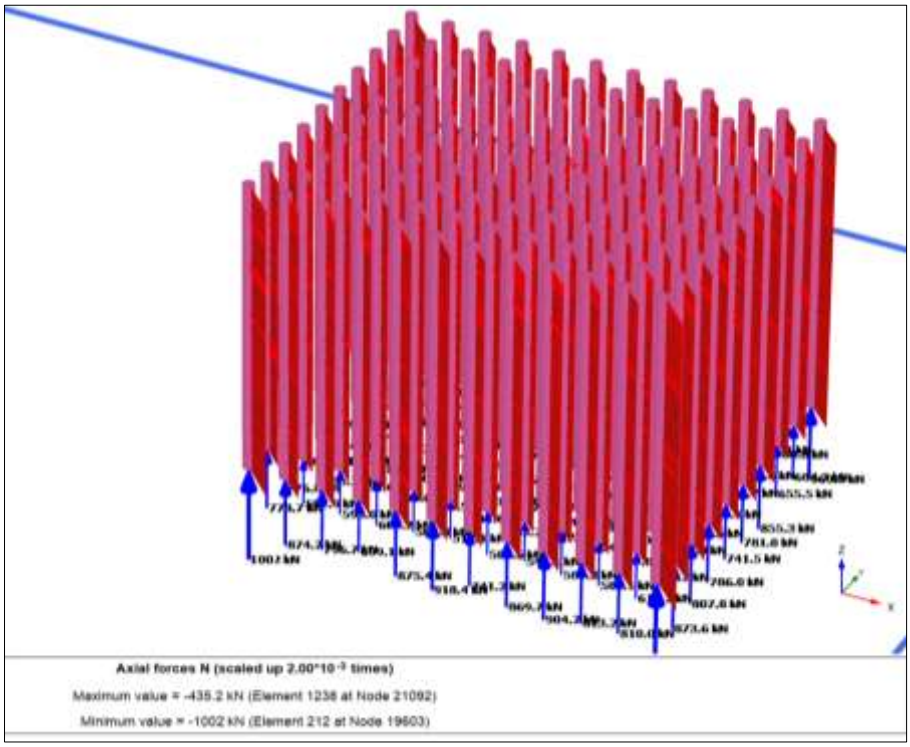


الشكل (4): نموذج الحصيرة الوتدية والأحمال المنقولة لها من المبنى وفق برنامج PLAXIS 3D

وبعد النمذجة والتحليل تبين أن هبوط الحصيرة الوتدية S=11.02 cm كما يظهر الشكل (5)، وكان مجموع الحمولات المنقولة للأوتاد 71655.23kN حيث يظهر الشكل (6) الحمولة المنقولة إلى الأوتاد ضمن برنامج PLAXIS وبالتالي نسبة مساهمة الحصيرة 28.36%.



الشكل (5): هبوط الحصيرة الوتدية



الشكل (6): القوى المنقولة إلى الأوتاد

2-4-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):

$$\alpha_{cp} = 1 - \frac{\ln(r_c/r_0)}{\zeta} \qquad \dots\dots\dots(3)$$

حيث:

r_c : نصف قطر قبعة للوتد الواحد، r_0 : نصف قطر الوتد.

$$\zeta = \ln(r_m/r_0); \quad r_m = \{0.25 + \xi[2.5\rho(1-\nu) - 0.25]\} * L$$
$$\xi = E_{S1}/E_{sb} \; ; \qquad \rho = E_{Sav}/E_{s1}$$

υ: معامل بواسون للتربة (0.35). E_{S1} : معامل مرونة التربة عند مستوى ارتكاز الوتد.

E_{sb} : معامل مرونة طبقة التربة الحاملة للأوتاد (أسفل الأوتاد)،

E_{sav}: متوسط معامل مرونة طبقات التربة على طول الوتد ،L: طول الوتد.

وبالتعويض العددي بما يتوافق مع قيم البرامترات التي ذكرناها في المشروع في العلاقة (3) نجد قيمة معامل التفاعل بين الحصيرة والأوتاد:

$$\alpha_{cp} = 0.741$$

بإيجاد معامل التفاعل α_{cp} نستطيع إيجاد نسبة مساهمة كل من الأوتاد والحصيرة في تحمل الأحمال الكلية المنقولة إلى الأساسات وذلك بتطبيق العلاقة (4):

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_r(1-\alpha_{cp})}{K_{Gp} + K_r(1-\alpha_{cp})} = X \qquad \dots\dots\dots(4)$$

حيث:

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

K_r: صلابة الحصيرة لوحدها بدون أوتاد:

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 بـ 0.7:

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

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

والقيم الموافقة لهذا المشروع. (P_t=10029 ton, s=0.24 m)

K_{Gp}: صلابة مجموعة الأوتاد:

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

Kp : صلابة الوتد الواحد، n عدد الأوتاد.

وبالتعويض العددي في المعادلة (4) نجد قيمة X=0.386 أي أن الحصيرة تتحمل 38.6% من الأحمال الكلية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم في هذا البحث تقدير مساهمة الحصيرة في أساسات الحصائر الوتدية وفق طريقة مبسطة لحساب مساهمة الحصيرة في تحمل الأحمال المنقولة إلى الأساس تعتمد على مبدأ أن الحصيرة تستند على الأوتاد، ومقارنتها مع طريقة Poulos، والتحقق من أمان هذه الطريقة بنمذجة أساسات البناء ضمن بيئة PLAXIS 3D وتوصلنا إلى النتائج التالية:

1-أظهر نموذج PLAXIS 3D مساهمة واضحة للحصيرة في تحمل جزء من الأحمال وصل إلى 28.36%.

2-مساهمة الحصيرة وفق الطريقة المبسطة المقترحة وصلت إلى 21.11% 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.

3-الطريقة المبسطة أكثر أماناً ومقاربة للحل التحليلي الدقيق لنموذج PLAXIS في تقدير قيم مساهمة الحصيرة مقارنة بطريقة Poulos التي وصلت نسبة المساهمة فيها % 38.6 من قيم الأحمال الكلية.

4-تعتمد الطريقة المبسطة لحساب مساهمة الحصيرة على بيانات مدرجة ضمن الدراسة الجيوتكنيكية المرفقة بدراسة أي مشروع لذلك من الممكن استخدامها بسهولة من قبل الدارس الانشائي للمشروع وهي طريقة آمنة أيضاً حيث تعطي قيماً أقل طريقتي PLAXIS 3D, Poulos.

التوصيات:

- نوصي باعتماد برنامج PLAXIS 3D لدراسة للحصائر الوتدية بدلاً من برنامج SAFE لأنه يمكننا من نمذجة التربة ومواصفاتها بشكل دقيق ويمكننا من تقدير مساهمة الحصيرة في تحمل جزء من الأحمال الكلية.

-لابد من إجراء مزيد من الأبحاث حول السلوك التفاعلي بين حصيرة -تربة – وتد لوضع طريقة لتحديد مساهمة الحصيرة في أساسات الحصائر الوتدية ليتم 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 *Pile stiffness in piled-raft foundation*, Technical Transactions, 2-B (2013), pp 60-69

[3] A. Sami, A. Ibrahim *Numerical Study of Piled Raft Foundation in Non-Homogeneous Soil Using Finite Element Method*, J E, Vol 29, No 11 (2023), PP 50-63

[4] TH. Mubarak: *The relative contribution of the raft in carrying Piled Raft foundation loads*, Vol. 46(3) (2024), pp 113-125.

[5] 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

[6] B. Aniruddha, D. Choudhury. "*Serviceability-Based Finited-Element Approach on Analyzing Combined Pile-Raft Foundation*." Int.J.Geomech, Vol 20, No. 2 (2020).

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

[8] 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

[9] J. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, Fifth edition, (1997)

[10] M. Alzawi, *Foundation Engineering (2)* ,Tishreen University ,(2017), pp. 590.

[11] B. Mustafa, *Foundation Design Using Classical and Computer Methods According to Syrian Code, (2011),Aleppo, pp 265*