

Three-dimensional Numerical Study of the Seismic Response of Piled Raft using Pseudo-static Method

Dr. Toufik Fayad*
Nisren kaddar**

(Received 7 / 6 / 2024. Accepted 15 / 7 / 2024)

□ ABSTRACT □

A piled raft foundation (PRF) is generally used for high-rise buildings, the conventional design of piled raft does not include the capacity of piled raft under combined lateral and vertical load, however vertical (v), horizontal (H) loading may act on the foundation simultaneously. The present study examines the behavior of piled raft foundation in sandy soil under V-H(Pseudo-static) interaction using plaxis3D.

We study the effect of these force on bearing capacity of the raft and the horizontal displacement through a parametric study of the most important influencing factors (internal friction angle Φ , relative density of sand D , the length to width ratio L/B , effect the spacing to diameter ratio of pile S/D , thickness of the raft, effect the pile position and distributing of pile in different methods).

The results of the numerical study show that the capacity of piled raft increases with increase in the relative density of the sand, and the optimal thickness of the raft was 1m, we found that the front row of pile takes larger shear of the lateral load compared to the successive rows.

the present results are useful because they provide a broader understanding of the response of PRF under vertical and horizontal loading conditions.

Keywords: Piled raft, Combined vertical and lateral loading, Horizontal displacement, Numerical analysis, Pseudo-static

Copyright



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

* Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Master student (Master), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Nisrenkaddar@gmail.com

دراسة عددية ثلاثية الأبعاد للاستجابة الزلزالية للحصائر الوتدية باستخدام الطريقة شبه الستاتيكية

د. توفيق فياض*

نسرين قدار**

(تاريخ الإيداع 7 / 6 / 2024. قُبِلَ للنشر في 15 / 7 / 2024)

□ ملخص □

تستخدم الحصائر الوتدية بشكل عام من أجل المنشآت الشاهقة. لا يتضمن التصميم التقليدي قدرة تحمل الحصائر الوتدية تحت تأثير الحمولات الأفقية والشاقولية معاً، لكن قد يعمل التحميل الرأسى (V) والأفقي (H) على الأساس في وقت واحد، تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية ثلاثية الأبعاد لسلوك حصائر وتدبة معرضة لحمولة شاقولية وأفقية (شبه ستاتيكية) معاً على تربة رملية باستخدام برنامج PLAXIS 3D، حيث تم دراسة تأثير هذه القوى على قدرة تحمل الحصىرة والانتقالات الأفقية في الأوتاد من خلال إجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة (زاوية الاحتكاك الداخلية Φ ، الكثافة النسبية للرمل D_r ، نسبة طول الوتد إلى عرض الحصىرة l/b ، نسبة التباعد بين الأوتاد إلى قطر الوتد S/D ، سماكة الحصىرة الوتدية)، تأثير تموضع الأوتاد وطرق توزيع مختلفة للأوتاد). وأظهرت نتائج الدراسة العددية بالنسبة للحصىرة الوتدية زيادة بقدرة تحمل الحصىرة الوتدية بازدياد الكثافة النسبية للرمل، وكانت السماكة الأمثل للحصىرة الوتدية 1m، وقد وجدنا بأن الصف الأمامي من الأوتاد يأخذ أكبر نسبة من الحمولة الجانبية مقارنة بالصف الخلفي. تعتبر النتائج الحالية مفيدة لأنها توفر فهماً أوسع لاستجابة PRF في ظروف التحميل الشاقولية والأفقية.

الكلمات المفتاحية: حصىرة وتدبة، حمولات أفقية وشاقولية معاً، انتقالات أفقية، تحليل عددي، شبه ستاتيكي



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ- قسم الهندسة الجيوتكنيكية- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
** طالبة ماجستير- قسم الهندسة الجيوتكنيكية- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
Nisrenkaddar@gmail.com

مقدمة:

- يكون هبوط المباني الشاهقة عادة كبيراً ومختلف، بهذه الحالة الأساسات السطحية من الصعب استخدامها، لذلك يكون الاتجاه نحو الأساسات العميقة ومن هذه الأساسات أساس الحصيرة الوتدية، لقد تم الاعتراف على نطاق واسع بأساسات الحصيرة الوتدية PRF، كأساس اقتصادي للمباني الشاهقة عند تعرضها للأحمال الرأسية بسبب فعاليتها في تقاسم الحمولات من خلال الحصيرة والأوتاد وهذا يؤدي إلى تقليل الهبوط الكلي والتفاضلي. إن سلوك PRF تحت تأثير الأحمال الأفقية والشاقولية غير معلوم بدقة نتيجة التعقيدات في تشارك الأوتاد والترية والحصيرة في ظل اعتبارات التحميل هذه، حيث تمت محاولة تطوير طرق مختلفة لدراسة هذا النوع من الأساسات، يحاول الباحثون تطوير نموذج مناسب لمحاكاة التفاعلات المختلفة بهذا الأساس بطريقة مثالية، تعتبر محاولة الباحثان (1971) Butterfield-Banerjee المحاولة الأولى لإجراء دراسة تحليلية لهذا النظام المعقد ولكن كان هذا التحليل من أجل مجموعة أوتاد صغيرة، ثم قام الباحثان (1972) Davies-Poulos بتطوير محاولة الدراسة السابقة فأجروا دراسة تحليلية لأساسات PRF من أي حجم كان، حيث تمت دراسة أساليب مختلفة ويرجع ذلك أساساً إلى عدم الوضوح للتفاعل المعقد الحاصل، وكل طريقة يكون لها مجموعتها الخاصة من الافتراضات، إلا أن طريقة التحليل الأكثر قبولاً تم وضعها من قبل الباحث (1994) Randolph، حيث درس نموذج حصيرة وتدية متوضعة على تربة متجانسة باعتماد نظرية المرونة حتى توصل لطريقة مبسطة من أجل تقدير تقاسم الحمل بين الحصيرة والأوتاد، وعمل الباحث على تطوير دراسته التحليلية السابقة مستفيداً من تقدم التكنولوجيا وتطورها فوضع حل عددي تقريبي مستخدماً فيه الطرق التحليلية والعددية. لقد بدأت دراسة الحصائر الوتدية باستخدام الطرق العددية عام (1973)، حيث استخدم الباحث Hooper لأول مرة طريقة العناصر المنتهية FEM لدراسة سلوك أساس حصيرة وتدية، ومع تطور البرمجيات توفر المزيد من القدرة على العمل بالطرق العددية و ساعد الباحثين على إدراك السلوك المعقد للأساس، فقد قام الباحثون (2016) Naser et al بدراسة عددية ثلاثية الأبعاد لحصيرة وتدية، وقد درسوا تأثير زاوية ميل الأوتاد على القوى الداخلية المتولدة في الأوتاد والحصيرة، وكذلك قام الباحثان (2019) Deb & Kumar بدراسة عددية باستخدام برنامج ABAQUS ودرسا نسبة تقاسم الحمل الجانبي بين الأوتاد والحصيرة، وقد تمت مقارنة نتائج هذه الدراسة مع دراسة تجريبية قام بإجرائها الباحثون السابقون على نموذج حصيرة وتدية في المخبر متوضعة فوق تربة رملية لدراسة تأثير القوى الأفقية والشاقولية على سلوك الحصيرة الوتدية، وتم التوصل إلى اتفاق جيد بين نتائج الدراسة العددية والتجريبية. ويوجد أيضاً عدة دراسات تجريبية على الحصائر الوتدية، ومنها الدراسة التجريبية التي أجراها (2005) Balakumar et al، حيث درس الباحثون العلاقة بين الهبوط والحمولة لحصيرة وتدية معرضة لحمولة رأسية، وتوصلوا إلى أن الهبوط يصبح أقل مقارنة مع حالة حصيرة (بدون أوتاد)، بسبب العمل المشترك بين الأوتاد والحصيرة، وهي نتيجة مشابهة للنتيجة التي توصل إليها (2016) Patil et al في دراستهم التجريبية لحصيرة وتدية معرضة لحمولة أفقية وشاقولية معاً، في معظم الدراسات السابقة كانت الحمولة الأفقية المطبقة على الحصيرة هي عبارة عن حمولة ستاتيكية، بينما الدراسات التي تضمنت محاولة فهم سلوك الحصائر الوتدية المعرضة لحمولة زلزال حقيقي كانت قليلة نسبياً، ومنها الدراسة التي قام بها الباحث (2003a) Horikoshi et al بوصف سلوك الحصائر الوتدية تحت تأثير الأحمال الشاقولية والأفقية الثابتة، ثم استبدل القوة الأفقية الستاتيكية بحمولة زلزال حقيقي لدراسة سلوك الحصائر الوتدية تحت تأثير الحمولة الزلزالية (2003b).

وأهم النتائج التي توصلوا إليها في الدراسات السابقة:

- قدرة تحمل الحصيصة الوتدية أكبر من قدرة تحمل الحصيصة،
- تزداد قدرة تحمل الحصيصة الوتدية بزيادة عدد الأوتاد أسفلها،
- بزيادة الحمل الرأسي المطبق على الحصيصة الوتدية تزداد مقاومة الحصيصة الوتدية للحمولة الجانبية المطبقة،
- تزداد قدرة تحمل الحصيصة الوتدية بزيادة زاوية الاحتكاك الداخلية للترب.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة الاستجابة الزلزالية للحصائر الوتدية باستخدام الطريقة شبه الستاتيكية من خلال نمذجة فراغية، بطريقة العناصر المنتهية (FEM) وبرنامج PLAXIS 3D ، ودراسة أهم المعاملات المؤثرة على قدرة تحمل الحصائر الوتدية والانتقالات الأفقية المتولدة في الأوتاد، وهي:

- تأثير زاوية الاحتكاك والكثافة النسبية للترب الرملية على قدرة تحمل الحصيصة الوتدية والانتقالات الأفقية المتولدة بالأوتاد،
- تأثير سماكة الحصيصة، طول الوتد، تباعد الأوتاد، طريقة توزيع الأوتاد وتموضعها على الانتقالات المتولدة في الأوتاد وقدرة تحمل الحصيصة الوتدية.

- وتأتي أهمية هذا البحث من خلال المساهمة في إغناء البحث العلمي والفهم الأفضل لسلوك الحصائر الوتدية تحت تأثير الحمولات بالإضافة إلى توضيح أهم العوامل المؤثرة على سلوك الحصائر الوتدية وأخذها بعين الاعتبار في أثناء تصميم هذا النوع من الأساسات.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد هذا البحث على المنهج التحليلي المقارن، حيث تم إجراء نمذجة رياضية وتحليل عددي ثلاثي الأبعاد بطريقة العناصر المنتهية FEM لسلوك الحصائر الوتدية وتم إنجاز البحث وفق مرحلتين:

المرحلة الأولى: تم وضع نموذج لحصيصة وتدية من مادة البيتون بأبعاد (4*4*1m) مستتدة على أربع أوتاد ذات مقطع دائري بقطر 0.5m وطول الوتد 9m على ترب رملية، وتم استخدام قانون السلوك مور كولومب.

المرحلة الثانية: تم إجراء دراسة لأهم العوامل المؤثرة على قدرة تحمل الحصيصة الوتدية والانتقالات الأفقية المتولدة في الأوتاد. حيث تم نمذجة حصيصة وتدية من مادة البيتون بأبعاد (4*4*1m) مستتدة على أربع أوتاد ذات مقطع دائري بقطر 0.5m وطول الوتد 9m على ترب رملية، وتم استخدام قانون السلوك مور كولومب.

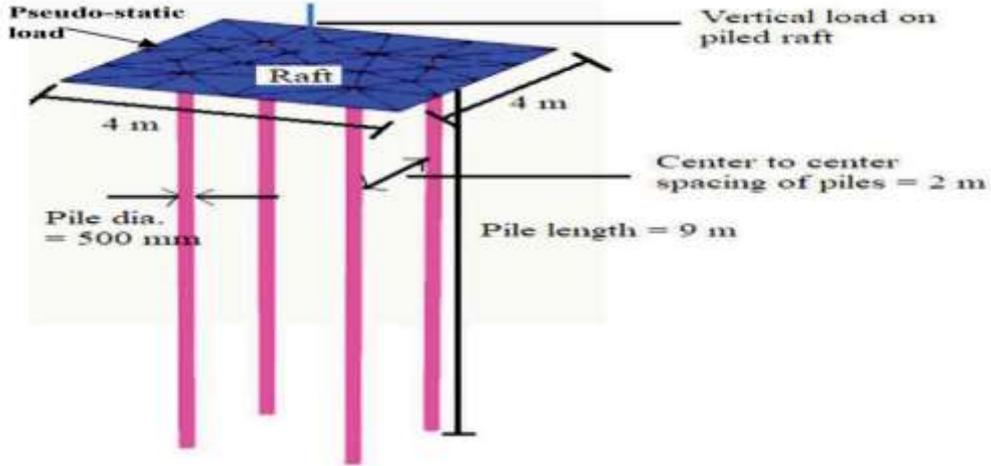
تم تطبيق حمولة شاقولية موزعة بانتظام أعلى الحصيصة الوتدية قيمة محصلتها 5580kN، بينما الحمولة الأفقية تم تطبيقها عند مستوى الحصيصة الوتدية وهي حمولة شبه ستاتيكية يتم حسابها عن طريق ضرب محصلة الحمولة الشاقولية بمعامل التسارع الزلزالي. لقد قمنا بدراسة زلزال (Uttarkashi (1991 ومعامل التسارع الزلزالي PGA قيمته 0.38g وبالتالي قيمة القوة الأفقية المطبقة 2234.4KN، الاتصال بين الأوتاد والحصيصة كان صلب.

تم اختيار أبعاد النموذج المدروس (28*28*16m) بحيث يتم تخفيف أثر الشروط الطرفية الجانبية ومواصفات المواد كانت كما يلي:

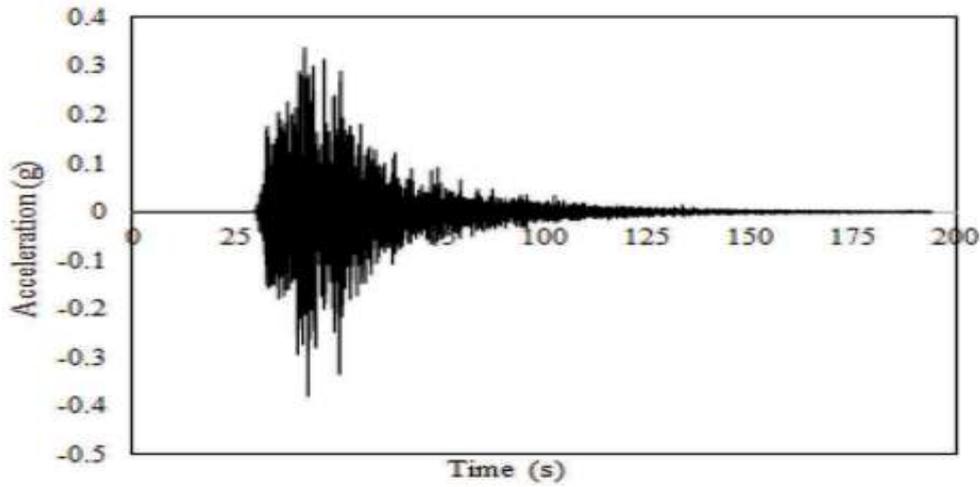
جدول (1) خصائص التربة، الأوتاد، الحصيرة

Table 1. Properties of soil, pile and raft used for analysis

Properties	Soil	Pile	Raft
Elastic modulus, E (kN/m ²)	40×10^3	30×10^6	30×10^6
Friction angle, ϕ (Degree)	31	–	–
Poisson's ratio, ν	0.3	0.2	0.35
Unit weight, γ (kN/m ³)	16.3	24	24
Dilatancy angle, ψ (Degree)	1	–	–

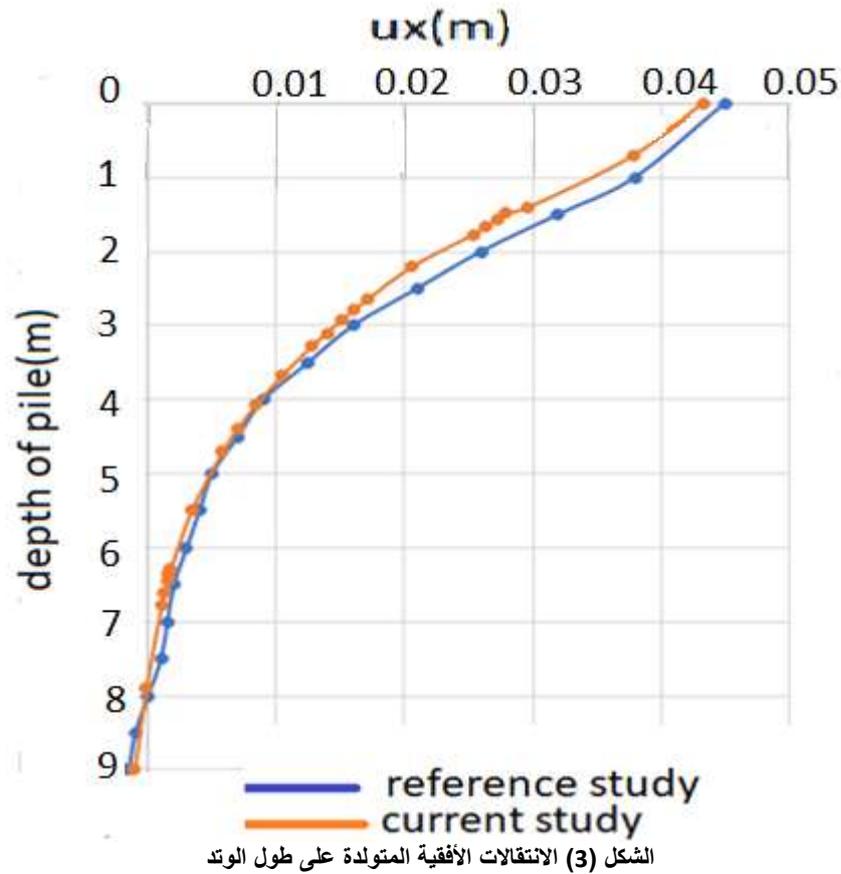


الشكل (1) أبعاد الحصيرة الوتدية بالدراسة المرجعية



الشكل (2) سجل التسارع الزمني لزلزال Uttarkashi (1991)

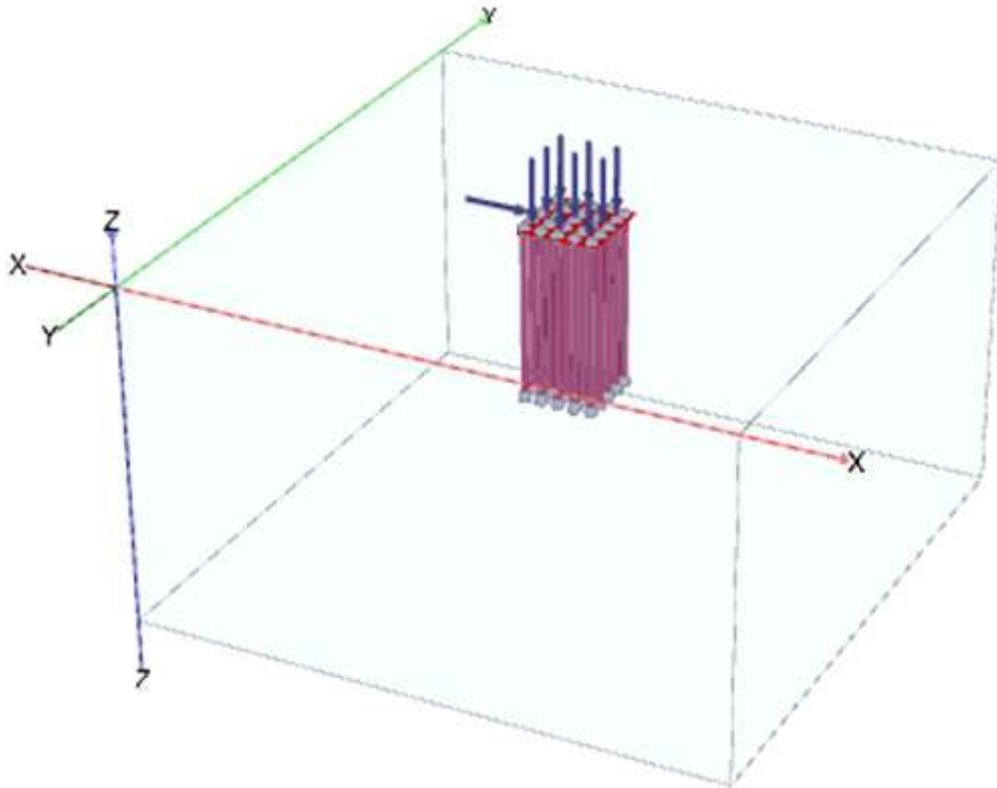
وبعد إجراء التحليل العددي تمت مقارنة النتائج مع دراسة الباحثين Manna & Halder، حيث تمت المقارنة بالانتقالات الأفقية المتولدة في الأوتاد، وكانت النتائج متقاربة بشكل مقبول كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) الانتقالات الأفقية المتولدة على طول الوتد

بعد إجراء المعايرة والتأكد من صحة النتائج قمنا بإجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة وقد تم اعتماد نموذج من الحصىرة الوتدية ذو أبعاد أكبر حيث كانت الحصىرة بالأبعاد التالية (10*10*1m) مرتكزة على 25 وتد بطول 20m وقطر 0.5m بنفس مواصفات المواد المستخدمة في مرحلة المعايرة، وتم تطبيق حمولة شاقولية موزعة بانتظام قيمة محصلتها 36750KN وحمولة أفقية شبه ستاتيكية قيمتها 13965kN، وكانت أبعاد حدود النموذج المدرس (70*70*40m).

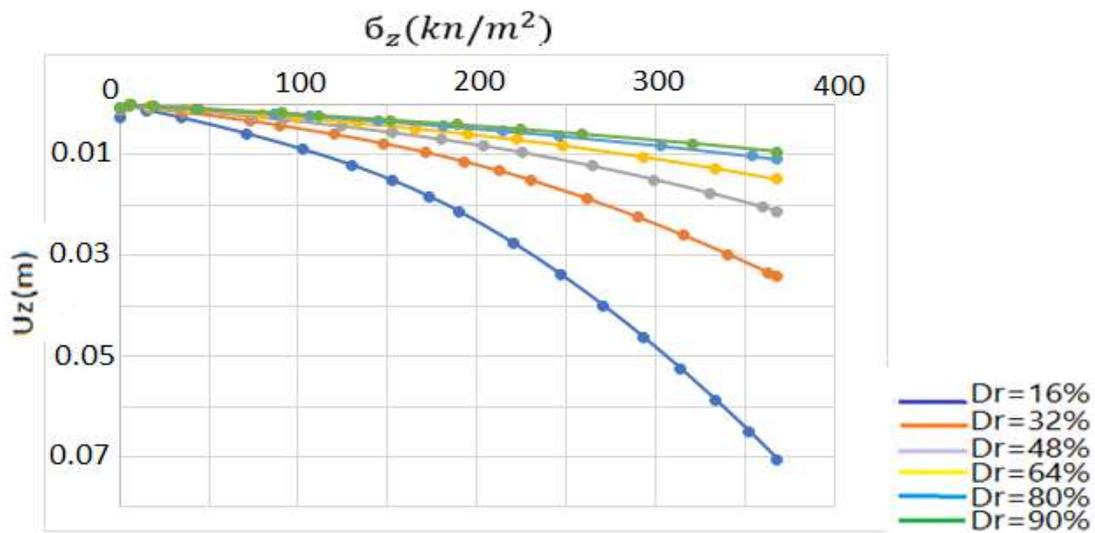
تمت دراسة قدرة تحمل الحصىرة الوتدية في عقدة بمنتصف الحصىرة، والانتقالات الأفقية تم دراستها على وتد زاوي



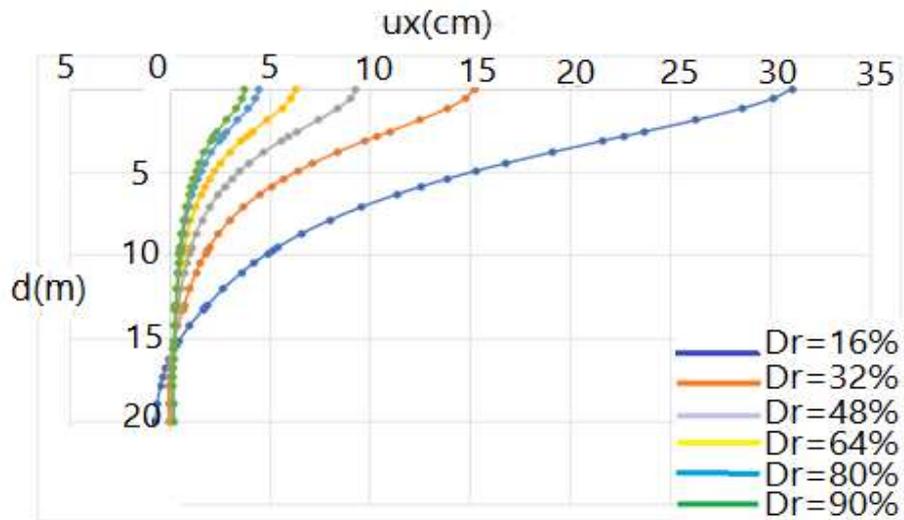
الشكل (4) شكل الحصيرة الوتدية المعتمدة في الدراسة العددية

تأثير الكثافة النسبية للرمل Dr :

تم دراسة الكثافات التالية (16%, 32%, 48%, 64%, 80%, 90%) ونجد أنه بتغير الكثافة للرمل من رمل مخلخل إلى رمل متوسط الكثافة إلى رمل كثيف تزداد قدرة تحمل الحصيرة الوتدية كما هو موضح بالشكل (5).



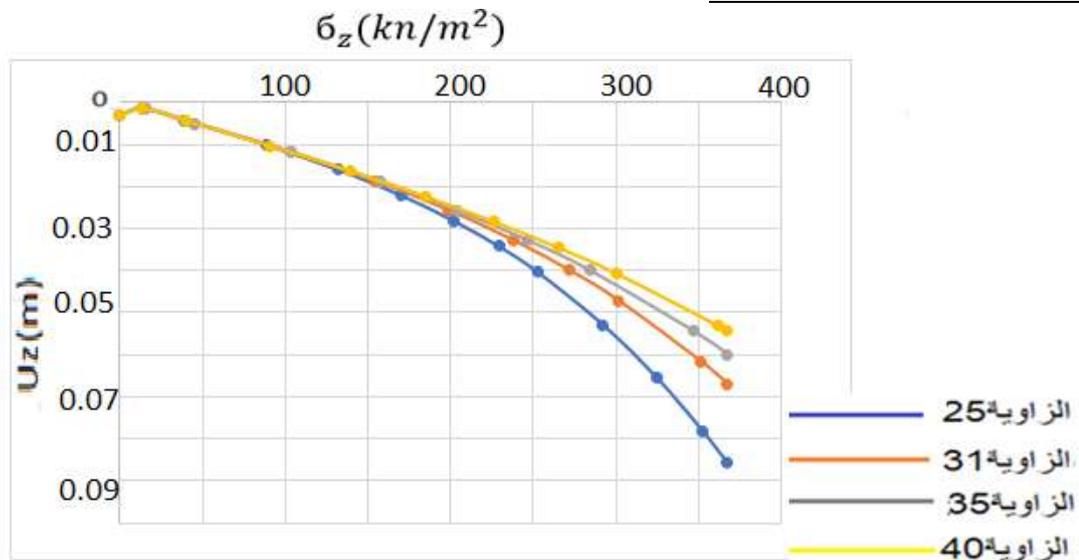
الشكل (5) تغيرات الإجهاد الشاقولي مع الانتقال الشاقولي من أجل كثافات نسبية مختلفة



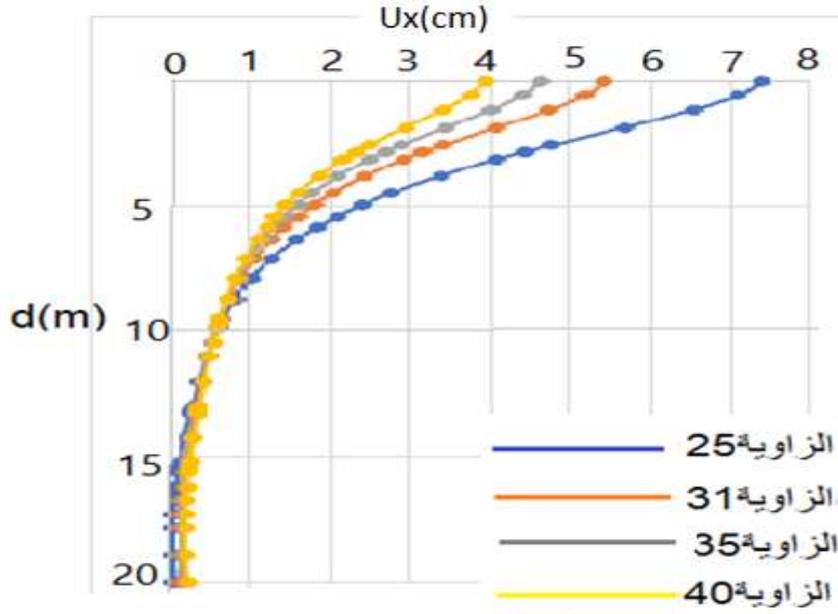
الشكل (6) تغير الانتقالات الأفقية على طول الورد من أجل كثافات نسبية مختلفة

نلاحظ عندما تغيرت الكثافة النسبية للرمل من 16% (رمل مخلل) إلى 64% (رمل متوسط الكثافة) أي ازدادت بمقدار 300%، تغير الانتقال الشاقولي للحصيرة من 7cm إلى 1.5cm أي قل الانتقال بمقدار 78.6% أي كلما زادت الكثافة النسبية للرمل كان هبوط الحصيرة أقل، وكذلك الانتقالات الأفقية الحاصلة في رأس الورد قلت من 32cm إلى 5.5cm أي انخفضت بنسبة 82.8% كما هو موضح بالشكل (6)، حيث بزيادة الكثافة النسبية للرمل يزداد الاحتكاك بين الجزيئات، وهذا يزيد من مقاومة التربة للحمولات المطبقة عليها.

تأثير زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة Φ :



الشكل (7) تغيرات الإجهاد الشاقولي مع الانتقال الشاقولي من أجل زوايا احتكاك داخلية مختلفة

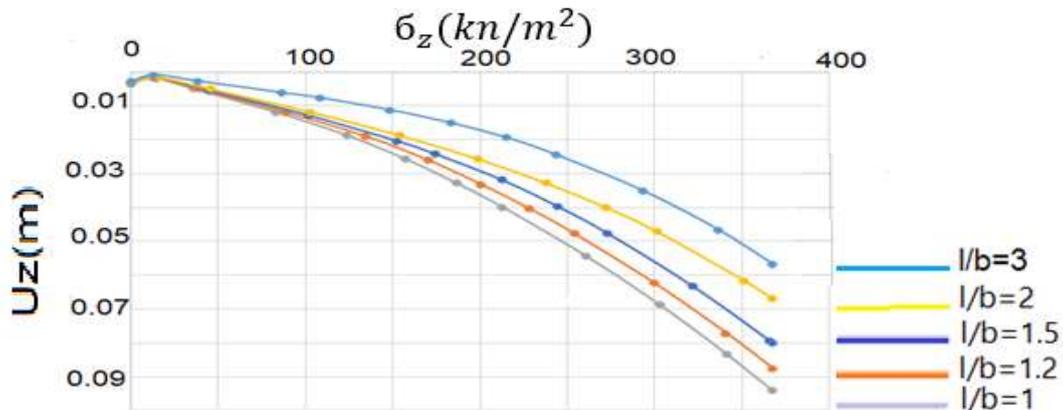


الشكل (8) تغيرات الانتقال الأفقي على طول الوتد من أجل زوايا احتكاك داخلية مختلفة

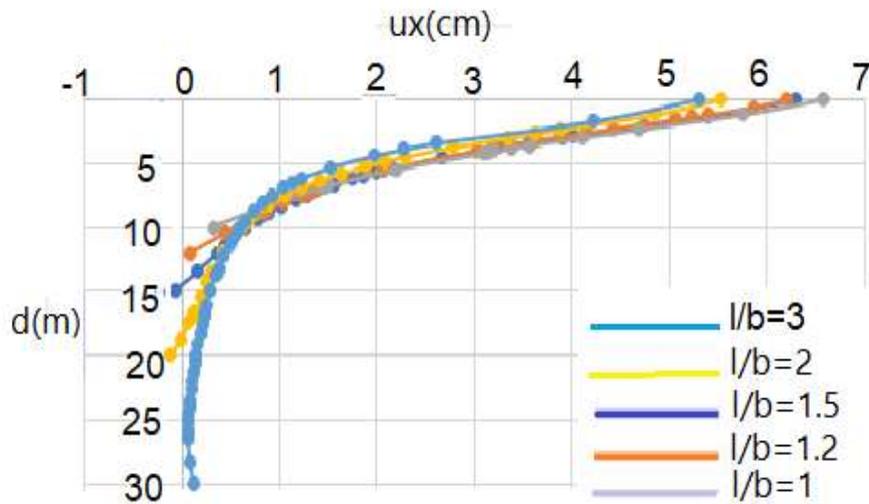
نلاحظ من الشكل (7) أنه عندما تغيرت زاوية الاحتكاك Φ من 25 إلى 40 أي زادت بمقدار 60%، تغير الانتقال الشاقولي من 8.8cm إلى 5.2 cm أي انخفض بنسبة 69.2%، وكذلك الانتقالات الأفقية الحاصلة عند رأس الوتد انخفضت بمقدار 45.2% كما هو مبين بالشكل (8)، نجد أن تحسين مواصفات التربة له دور كبير في زيادة قدرة تحمل الأساس فعند زيادة زاوية الاحتكاك للرمل، وهذا يزيد من مقاومة التربة للحمولات المطبقة عليها.

- تأثير تغيير النسبة L/B (طول الوتد إلى عرض الحصيرة):

لقد تم دراسة أطوال مختلفة من الأوتاد (30,20,15,12,10m) بالنسبة إلى عرض الحصيرة الذي تبلغ قيمته 10m.



الشكل (9) تغيرات الإجهاد الشاقولي مع الانتقال الشاقولي من أجل نسب l/b مختلفة

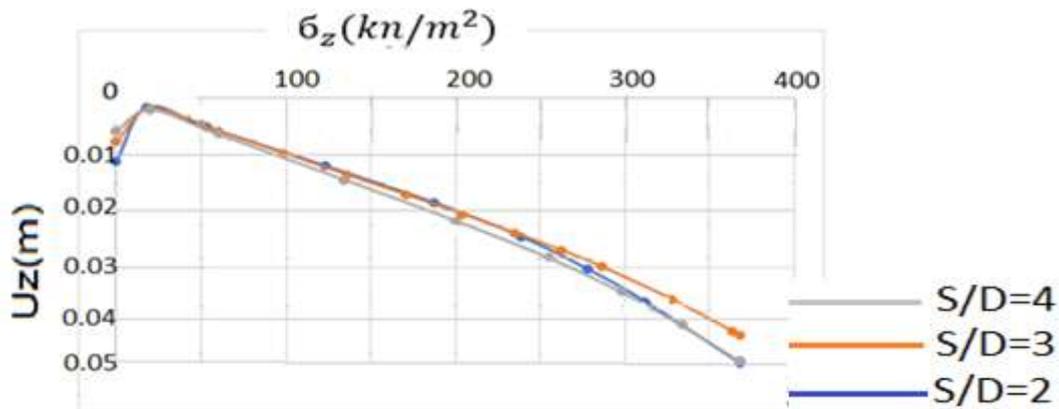


الشكل (10) تغيرات الانتقال الأفقي على طول الوتد من أجل نسب l/b مختلفة

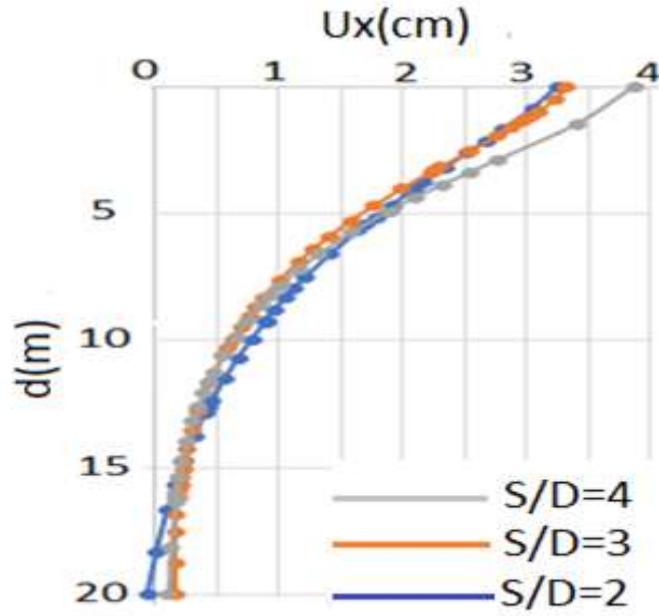
نلاحظ أنه عندما تغيرت نسبة من $l/b=1$ إلى $l/b=2$ أي بنسبة 100%، تغير الانتقال الشاقولي من 9.4cm إلى 6.8cm، أي قل الهبوط بنسبة 38.2%، وكذلك انخفضت الانتقالات الأفقية عند رأس الأوتاد بنسبة 16.7% كما هو موضح بالشكل (10) فعند زيادة طول الأوتاد يزداد الاحتكاك الحاصل على السطح الجانبي للوتد في الترب الرملية وهذا يزيد من مقاومة الحصىرة الوتدية للحمولات المطبقة عليها، لكن هذه الزيادة تصبح طفيفة جدا عندما تتغير النسبة l/b من 2 إلى 3 وكذلك نلاحظ بأن التغير في الانتقال الأفقي عند رأس الوتد هو تغير طفيف.

- تأثير تغير نسبة S/D (التباعد بين الأوتاد إلى قطر الوتد):

من أجل معرفة تأثير النسبة S/D تم دراسة أوتاد بطول 20m بقطر 1m و تباعدات مختلفة (2D-3D-4D).



الشكل (11) تغيرات الإجهاد الشاقولي مع الانتقال الشاقولي من أجل نسب S/D مختلفة

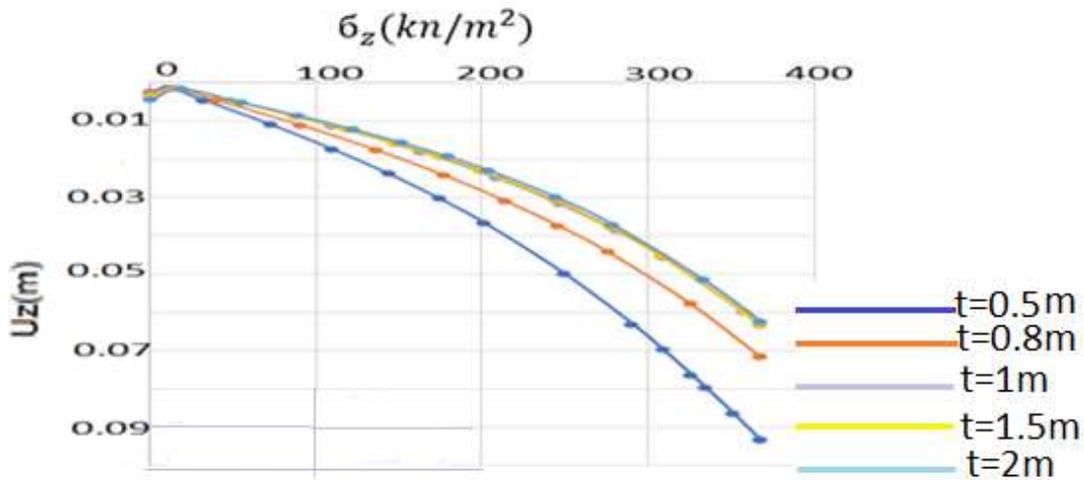


الشكل (12) تغيرات الانتقالات الأفقية مع طول الوتد من أجل نسب S/D مختلفة

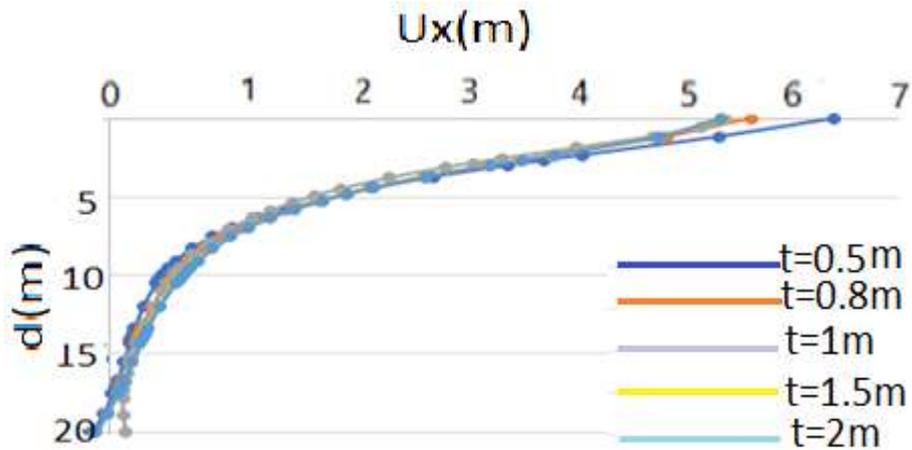
نلاحظ من الشكل (11) عندما تغيرت النسبة S/D من 2 إلى 3 أي بنسبة 50% تغير الانتقال الشاقولي من 4.8cm إلى 4.2 cm أي قل الانتقال الشاقولي بنسبة 12.5%، وكذلك الانتقال الأفقي الحاصل عند رأس الوتد كان متقارب جداً كما هو موضح بالشكل (12)، لكن عندما تغيرت النسبة S/D من 3 إلى 4 نجد بأن قدرة تحمل الحصيرة الوتدية من أجل تباعد الأوتاد 4D كانت أقل من حالة تباعد الأوتاد 3D والانتقالات الأفقية الحاصلة عند رأس الوتد في حالة تباعد 4D لها قيمة أكبر بنسبة 15.8% مقارنة مع حالة تباعد الأوتاد بمقدار 3.

-تأثير تغيير سماكة الحصيرة:

تم دراسة تأثير سماكات مختلفة للحصيرة وهي (0.5, 0.8, 1, 1.5, 2m)



الشكل (13) تغيرات الإجهاد الشاقولي مع الانتقال الشاقولي من أجل سماكات مختلفة للحصيرة



الشكل (14) تغيرات الانتقال الأفقي على طول الوتد من أجل سماكات مختلفة للحصيرة

نلاحظ من الشكل (13) عندما تغيرت سماكة الحصيرة من $t=0.5m$ إلى $t=1m$ أي بمقدار 100%، تغير الشاقولي من 9.3cm إلى 6.2cm، أي انخفض الانتقال الشاقولي بمقدار 33% وكذلك لنفس الحالة من المعيار- انخفضت قيمة الانتقالات الأفقية عند رأس الوتد بنسبة 20% كما هو موضح بالشكل (14)، ولكن عندما زادت سماكة الحصيرة عن 1m فإن الانتقال الشاقولي لا يتغير بشكل كبير، ربما عندما كان سمك الحصيرة الوتدية أقل من 1m لم تكن الحصيرة صلبة بما يكفي لتحمل الحمولة ومن الواضح أن الحصيرة إذا كانت تتمتع بصلابة مناسبة، فإن سمك الحصيرة يكون له تأثير ضئيل على متوسط الهبوط وهذا يتوافق مع النتائج التي حصل عليها Grathy et al.

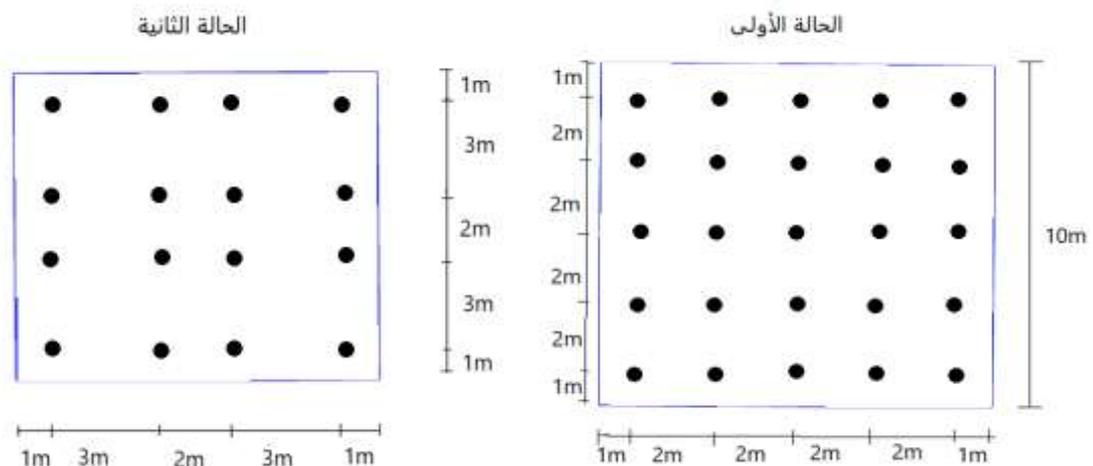
-تأثير طريقة توزيع الأوتاد:

من أجل دراسة تأثير طريقة توزيع الأوتاد قمنا بدراسة عدة حالات بنفس المواصفات المعتمدة بالبارامترات السابقة مع تغير قطر الوتد إلى 1m:

الحالة الأولى: هي عبارة عن توزيع منتظم أسفل الحصيرة بحيث يكون التباعد بين الأوتاد من مركز الوتد إلى مركز الوتد هو (2D) بكلا الاتجاهين فكان لدينا 25 وتد

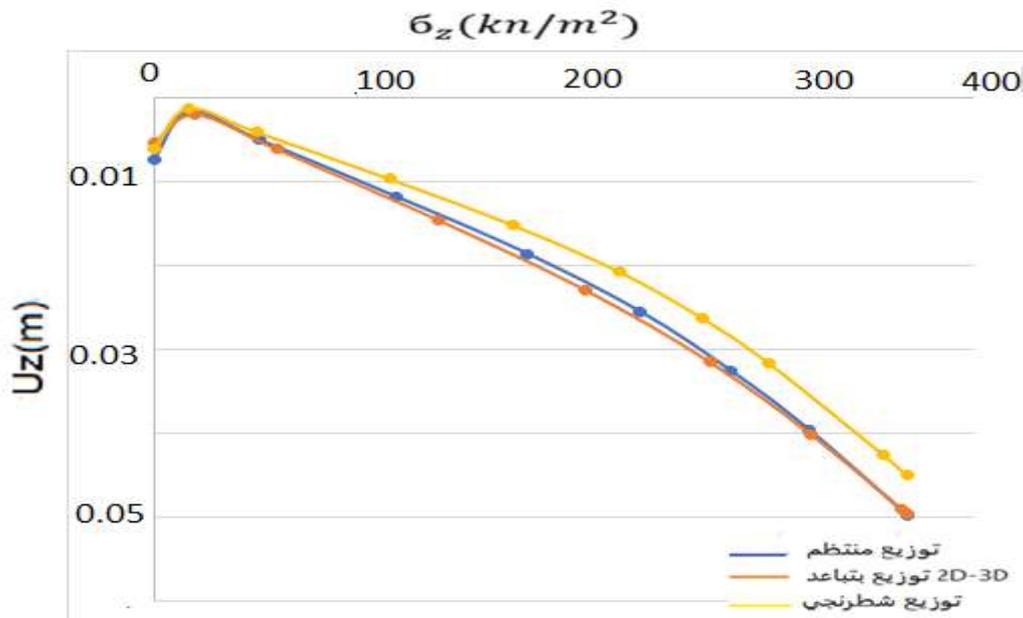
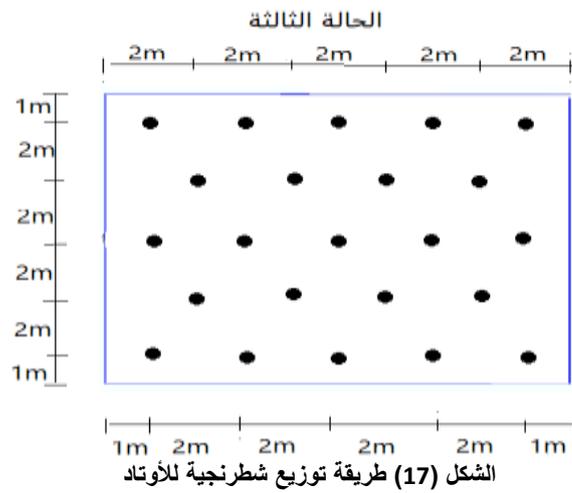
الحالة الثانية: هي عبارة عن توزيع الأوتاد بتباعد 3D-2D بكلا الاتجاهين فكان عدد الأوتاد 16 وتد

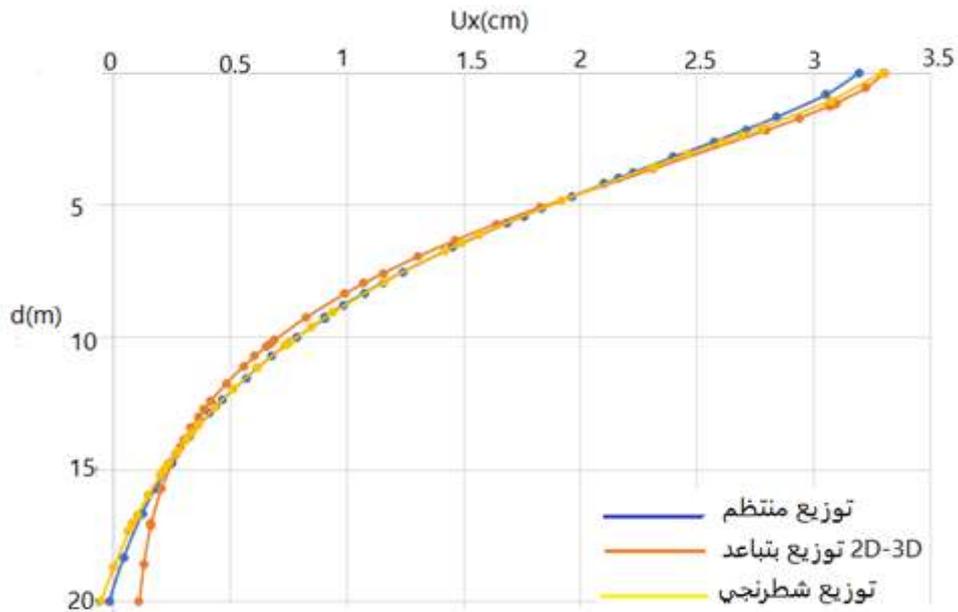
الحالة الثالثة: هي عبارة عن توزيع شطرنجي للأوتاد فكان عدد الأوتاد 23 وتد



الشكل (16) طريقة توزيع منتظمة للأوتاد

الشكل (15) طريقة توزيع 2D-3D



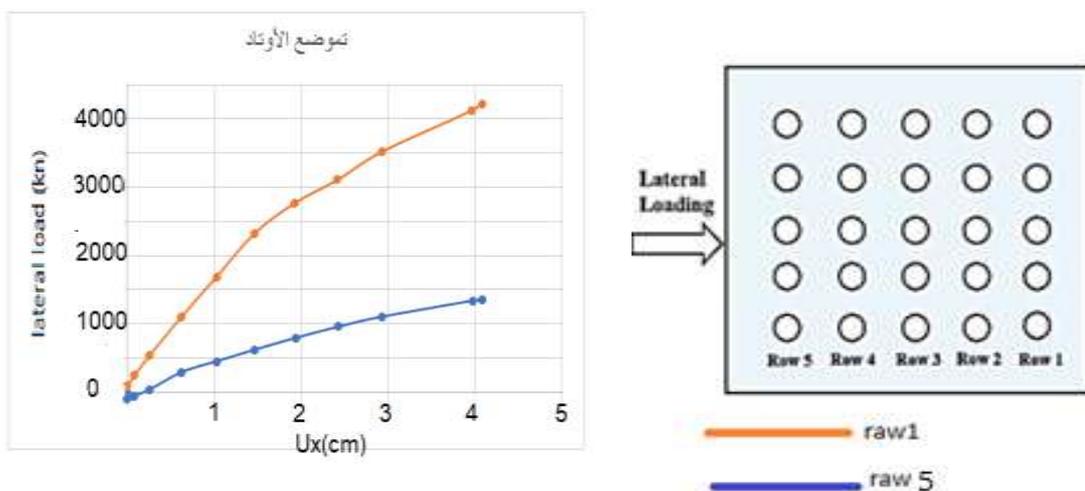


الشكل (19) تغيرات الانتقال الأفقي على طول الوتد من أجل طرق توزيع مختلفة للأوتاد

نلاحظ من الشكل (18) بأن الانتقالات الشاقولية متقاربة عندما تم استخدام توزيع أوتاد منتظم بتباعد 2D وتوزيع أوتاد باعتماد النسبة 2D-3D وقد أعطت انتقالات شاقولية أقل بقليل من حالة توزيع الأوتاد بشكل شطرنجي، وكذلك في الشكل (19) الانتقالات الأفقية عند رأس الأوتاد كانت القيمة متقاربة جدا في التوزيعات المختلفة إذا من الأفضل اقتصاديا اعتماد توزيع الأوتاد بنموذج 2D-3D .

- تأثير تموضع الأوتاد:

- عندما يتم تطبيق حمل جانبي على الحصىرة الوتدية بالإضافة للحمل الشاقولي فإن كل صف من الأوتاد سوف يظهر مقاومة مختلفة للحمولة الجانبية اعتمادا على اتجاه التحميل.



الشكل (20) منحنى بين الحمولة الجانبية والانتقال الأفقي

يوضح الشكل (20) بأن صف الأوتاد القريب من الحمولة هو الصف الذي يتحمل نسبة أعلى من الحمولة الجانبية مقارنة بالصفوف التي تليه وتتخفف هذه النسبة بشكل تدريجي حتى نصل للصف الأخير من الأوتاد، حيث raw5 يمثل الصف الأمامي الذي تحمل نسبة 71% أعلى من الحمولة الجانبية المطبقة مقارنة بالصف الخلفي raw1 .

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تناول هذا البحث دراسة تحليلية بطريقة العناصر المنتهية (FEM) لنموذج ثلاثي الأبعاد بهدف دراسة تأثير القوى الأفقية (شبه الستاتيكية) والشاقولية على سلوك الحصائر الوتدية، تم إجراء دراسة بارامترية تتضمن مجموعة من العوامل المؤثرة المختلفة، يمكن تلخيص أهم النتائج التي أظهرتها الدراسة:

1- الكثافة النسبية للرمل لها تأثير كبير على قدرة تحمل الحصىرة الوتدية والانتقالات الأفقية الحاصلة عند رأس الوند فعندما تغيرت الكثافة النسبية للرمل من $Dr=16\%$ (حالة رمل مخلخل) إلى $Dr=64\%$ (حالة رمل متوسط الكثافة) ازدادت قدرة تحمل الحصىرة الوتدية بمقدار 78.6% ، وكذلك الانتقالات الأفقية انخفضت بمقدار 82.8%

2- كان أيضا لزاوية الاحتكاك الداخلية للتربة تأثير ملحوظ فعندما تغيرت زاوية الاحتكاك الداخلية من 25 درجة إلى 40 درجة زادت قدرات تحمل الحصىرة بمقدار 60% ، وقلت الانتقالات الأفقية بشكل ملحوظ بنسبة 45.2%

3- عندما قمنا بدراسة تأثير النسبة l/b وجدنا بأنه عندما تغيرت l/b من 1 إلى 2 زادت قدرة تحمل الحصىرة الوتدية بنسبة 38% ، وقلت الانتقالات الأفقية المتولدة عن رأس الوند بنسبة 16.7% ، إلا أنه عند زيادة النسبة l/b من 2 إلى 3 لم يكن لطول الأوتاد تأثير ملحوظ فالزيادة بقدرة تحمل الحصىرة الوتدية وكذلك الانخفاض الحاصل في الانتقالات الأفقية عند رأس الوند كانت بنسب قليلة جدا

4- عند دراسة تأثير النسبة S/D اعتمدنا نسب تباعدات بين مراكز الأوتاد ($2D-3D-4D$)، عند تغير النسبة S/D من 2 إلى 3 أي الزيادة بنسبة 50% قل الانتقال الشاقولي من 4.8cm إلى 4.2cm أي قل الانتقال الشاقولي بنسبة 12.5% والانتقال الأفقي عند رأس الوند كان له قيم متقاربة جداً، لكن عندما تغيرت النسبة S/D من 3 إلى 4 نجد بأن قدرة تحمل الحصىرة الوتدية من أجل تباعد $4D$ كانت أقل من حالة تباعد الأوتاد $3D$ والانتقالات الأفقية الحاصلة عند رأس الوند في حالة تباعد $4D$ لها قيمة أكبر بنسبة 15.8% ، لذلك يفضل أن يكون تباعد الأوتاد بين ($2D-3D$)

5- في حال كانت الحصىرة لها سماكة كافية مما يجعل لها صلابة مناسبة وجدنا بأن سمك الحصىرة يصبح له تأثير ضئيل على متوسط الهبوط، وإن سماكة الحصىرة لها تأثير واضح في توزيع القوى على الأوتاد بالتساوي

6- عند دراسة توزيع طرق توزيع مختلفة للأوتاد تحت الحصىرة منها (طريقة التوزيع المنتظم للأوتاد بتباعد $2D$ ، طريقة التوزيع الشطرنجية، طريقة توزيع الأوتاد بتباعد $2D-3D$)، أعطت جميع هذه الطرق بالتوزيع المختلف للأوتاد قيم متقاربة في قدرة تحمل الحصىرة الوتدية وبالانتقالات الأفقية عند رأس الوند، إلا أنه توزيع $2D-3D$ كان عدد الأوتاد أقل وبالتالي فهو الأفضل من الناحية الاقتصادية وهذه التوزيعات جميعها تمت دراستها من أجل أوتاد بقطر 1m

7- بالنسبة لتموضع الأوتاد عندما تتعرض الحصىرة الوتدية لتأثير القوتين الشاقولية والأفقية معا وجدنا بأن الصف الأمامي من الأوتاد يتحمل نسبة 71% أكبر من الحمولة الأفقية مقارنة بالصف الخلفي (حيث يكون الصف الأمامي هو الصف القريب من جهة تطبيق الحمولة).

التوصيات:

- 1-دراسة الحصيصة الوتدية على ترب غضارية أو حالة تربة متعددة الطبقات،
- 2-دراسة تأثير وجود المياه على قدرة تحمل الحصائر الوتدية،
- 3-دراسة تأثير تغيير قيمة الحمولة الشاقولية المطبقة،
- 4 – دراسة الانتقالات الأفقية لأوتاد محيطية ومركزية.

References:

- 1)-Balakumar, V., Kalaiarasi, V., Ilamparuthi, K." Experimental and Analytical Study on the Behavior of Circular Piled Raft on Sand". Proc. 16th Intl Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japan, pp. 1943-1947, (2005).
- 2)-Butterfield, R. and Banerjee, P.K. "The Elastic Analysis of Compressible Piles and Pile Groups. *Geotechnique*,"21(1): 43-60, (1971).
- 3)-Burland, J.B., Broms, B.B. and de Mello, V.F.B. "Behavior of Foundations and Structures", Proc.9 ICSMFE, Tokyo, 2, 495-546, (1977).
- 4)- Davis, E.H. and Poulos, H.G. "The Analysis of Piled Raft Systems", Aust. Geomechs.J., G2: 21-27, (1972).
- 5)-Deb, Pl., Kumar, S. "Numerical analysis of piled raft foundation under combined vertical and lateral loading". *Ocean Engineering*, Volume 190, 15 October, (2019).
- 6)-El-Garhy, B. & Galil, A. A. & Youssef, A. F. & Raia, M. A. "Behavior of raft on settlement reducing piles: Experimental model study," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp. 389-399, (2013).
- 7)- Horikoshi, K. , Matsumoto, T. , Hashizume, Y., Watanabe, T. & Fukuyama, H." Performance of piled raft foundations subjected to static horizontal loads". *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics* 3(2): 37–50, (2003a).
- 8)- Horikoshi, K., Matsumoto, T., Hashizume, Y., Watanabe, T. & Fukuyama, H." Performance of piled raft foundations subjected to dynamic loading", *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics* 3(2): 51–62, (2003b).
- 9)-Hooper, J.A. "Observations on the Behavior of a Piled-Raft Systems", *Geotechnique*,(1973).
- 10)-Naser, E., Tamer, M. Sorour." 3-D Analysis of a Piled-Raft Foundation Subjected to Vertical and Lateral Loads". Fourth Geo-China International Conference. Shandong, China©American Society of Civil Engineers, (2016).
- 11)-Reul .& Randolph. "Piled rafts in Over-consolidated Clay Comparison of In-situ Measurements and Numerical Analyses". *Geotechnique*, (2003).
- 12)-Patil, J., Vasanwala, S., Solanki, C. H." An experimental study on behavior of piled raft foundation". *Indian Geotechnical Journal*. Volume 46, Issue1, pp 16-24, (2016).