

دراسة عددية حول رفع قدرة التحمل الحدية لأساس مستمر على تربة غضارية مسلحة بطبقة رقائق جيوتكنيكية مصنعة و وسادة رملية

الدكتور مالك توفيق حسن*

سميحة عجيل**

(تاريخ الإيداع 19 / 11 / 2015. قُبل للنشر في 15 / 8 / 2016)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث بشكل أساسي لدراسة الفائدة المثلى من استخدام الشرائح الجيوتكنيكية المصنعة (Geogrid) كتسليح لتحسين قدرة تحمل التربة وتخفيض الهبوط تحت الأساسات المستمرة المنفذة على تربة غضارية. لتحقيق هذا الهدف تم إجراء نمذجة عددية بطريقة FEM، لدراسة سلوك التربة المسلحة تحت الأساس، و لإجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على قدرة تحمل التربة و أهمها موقع طبقة الجيوغريد تحت الأساس. وقد أظهرت نتائج التحليل العددي أن إضافة طبقة تسليح إلى التربة يمكن أن يحسن من قدرة تحمل التربة بشكل واضح كما أنه يؤدي إلى تخفيض الهبوط الناتج تحت الأساس، وإن التشوه الحاصل في شرائح التسليح مرتبط بشكل مباشر بالهبوط، ووضع التسليح في التربة المسلحة يؤدي إلى توزيع للحمولات على مساحة أكبر ويؤدي إلى الإقلال من تركيز الإجهادات ويسبب توزع أفضل لهذه الإجهادات. وهذه الإعادة في توزيع الإجهادات تحت طبقات التسليح تؤدي إلى تخفيض الهبوط في الطبقات ذات قدرة التحمل الضعيفة التي تليها.

الكلمات المفتاحية : قدرة تحمل التربة - أساس مستمر - الجيوغريد Geogrid- طريقة العناصر المنتهية FEM - برنامج Plaxis.

*أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
**مشرف على الأعمال في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Numerical Analysis on improvement of Bearing Capacity of Strip footing on reinforced Clay with Geogrid layer

Dr. Malek Hasan*
Samiha Ogeil**

(Received 19 / 11 / 2015. Accepted 15 / 8 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research study aims at investigating the potential benefits of using the reinforcement to improve the bearing capacity and reduce the settlement of strip footing on clay. To implement this objective, many numerical 2D-analyses by finite element method / Plaxis program were performed to study the behavior of reinforced soil foundation. And then we carry out a parametric study of the most effective parameter on bearing capacity. The results showed that the inclusion of reinforcement can significantly improve the soil's bearing capacity and reduce the footing settlement. The strain developed along the reinforcement is directly related to the settlement. The results also showed that the inclusion of reinforcement can redistribute the applied load to a wider area, thus minimizing stress concentration and achieving a more uniform stress distribution. The redistribution of stresses below the reinforced zone can result in reducing the settlement of the underlying weak clayey soil.

Keywords: Bearing Capacity – Strip footing – Geogrid – Finit element method FEM – Plaxis

* Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia –Syria.

** Work supervisor of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia –Syria.

مقدمة:

تصادف ترب تأسيس ضعيفة التحمل عند تنفيذ الأساسات السطحية في الكثير من الحالات التنفيذية في الواقع العملي ، وللتغلب على هذه المشكلة يمكن اتباع عدة حلول، منها تغيير نوع الأساس، زيادة عرض الأساس، تعميق التأسيس، تحسين تربة التأسيس بطرق مختلفة منها، استبدال سماكة معينة من التربة بتربة أخرى جيدة التحمل. وفي العقود الأخيرة، تم الاعتماد على طريقة جديدة لزيادة قدرة تحمل التربة في الحياة العملية ، تعتمد على تسليح تربة التأسيس برقائق أو شرائح مصنعة (جيوغريد/جيوستيل) ، إذ إن استخدام التسليح يرفع قدرة تحمل التربة، ويقلل الهبوط المتوقع، وبالتالي يقلل من سماكة وسادة التأسيس اللازمة، ويمكن أن يؤمن حلاً اقتصادياً بالمقارنة مع بقية الطرق الأخرى.

ولقد أثبتت الأبحاث أن نسبة زيادة قدرة تحمل التربة، باستخدام رقائق التسليح المصنعة، تتعلق بعوامل متعددة (منها شكل الأساس، أبعاده، نوع الشرائح، وعددها، وتباعدها، وطولها، وصلابتها، وخواص التربة) ولا تزال هذه العوامل قيد البحث والتطوير .

يتناول هذا البحث بشكل أساس دراسة الاستفادة المثلى من استخدام الرقائق الجيوصناعية (جيوغريد) لتحسين قدرة تحمل التربة الغضارية المسلحة بالجيوغريد من خلال دراسة عددية باستخدام طريقة العناصر المنتهية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث، من خلال دراسة عددية باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM)، إلى دراسة تأثير كل من المعاملات التالية على معامل زيادة قدرة تحمل التربة المسلحة، بالمقارنة مع التربة غير المسلحة (BCR):

• تأثير وجود طبقة الجيوغريد بين التربة الغضارية و الوسادة الرملية الأساس من خلال دراسة تأثير النسبة (H/B)

• تأثير موقع أو عمق طبقة الجيوغريد ضمن الوسادة الرملية تحت الأساس من خلال دراسة تأثير النسبة (u/B)

يساهم البحث في فهم أفضل لسلوك التربة الغضارية المسلحة تحت الأساسات، و تأتي أهمية البحث من خلال التوصل إلى طرق عملية لرفع قدرة التحمل الحدية للأساسات المستمرة المنفذة على ترب غضارية ضعيفة التحمل و بكلفة اقتصادية منخفضة نسبياً.

منهجية البحث :

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن حيث تمّ إتباع المراحل التالية لإنجازه:

1. إجراء نمذجة عددية لنموذج تجريبي مخبري لأساس مستمر منفذ على تربة غير مسلحة بهدف معايرة النموذج العددي و التحقق من السلوك الاجهادي- التشوهي للتربة ومن صلاحية النتائج من خلال مقارنة نتائج التجريبية المرجعية لمنحني الاجهاد-الهبوط مع نتائج التحليل العددي.
2. إجراء نمذجة عددية لأساس مستمر على تربة غضارية غير مسلحة (Model-1) ، ثم على وسادة رملية غير مسلحة فوق الطبقة الغضارية (Model-2)، ثم على وسادة رملية مسلحة بطبقة جيوغريد فوق التربة الغضارية بهدف إجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على رفع قدرة تحمل التربة على ضوء أهداف البحث.

(1) مفهوم تسليح التربة و أبحاث مرجعية لأساس مستمر على تربة مسلحة:

عندما تكون تربة التأسيس ضعيفة يمكن استبدالها، وحتى عمق معين، بتربة محسنة يتم تسليحها بشرائح محدودة العرض من المعدن أو من المواد الجيوصناعية (الجيوغريد أو الجيوتكستيل أو الجيوتكستيل الملبس بالألمنيوم، ...). تساعد الوسادة المسلحة على رفع قدرة تحمل التربة، وتقليل الهبوطات، وتعدّ هذه الوسائد وسيلة اقتصادية بالمقارنة مع باقي طرق تحسين التربة (Khing, Das, et al., 1993).

حددت الأبحاث السابقة قيمة المعامل الذي يعبر عن الزيادة في قدرة تحمل التربة، بعد تسليحها بالرفائق الجيوتكنيكية المصنعة مقارنةً بقدرة تحمل التربة للتربة غير المسلحة بالعلاقة التالية:

$$(BCR: \text{Bearing Capacity Ratio}) = \frac{q_R}{q_o} = \frac{q(\text{reinforced soil})}{q(\text{unreinforced soil})}$$

ويساوي نسبة قدرة تحمل التربة بعد التسليح، إلى قدرة تحمل التربة قبل التسليح، إذ استخدمت في هذه الأبحاث عدة متغيرات لتحديد قيمة هذا المعامل. يرمز لهذا المعامل بالرمز (BCR) و أهم هذه المتغيرات و المستخدمة في هذا البحث باعتبار وضع طبقة تسليح واحدة من الجيوغريد هي :

1. N: عدد طبقات التسليح

2. H: سماكة الوسادة الرملية

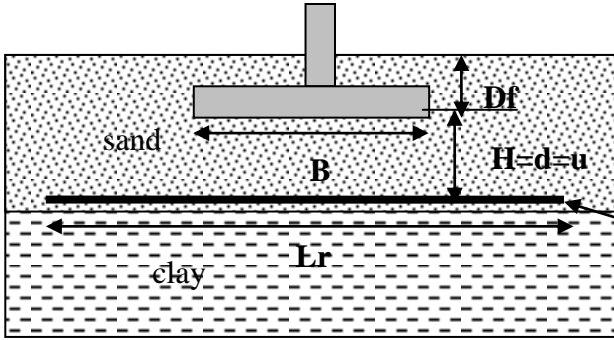
3. u: عمق أول طبقة التسليح (Geogrid)

تحت الأساس.

4. d: عمق آخر طبقة التسليح (Geogrid)

5. Lr: طول طبقات التسليح

6. نوع وصلابة طبقات التسليح (EA).



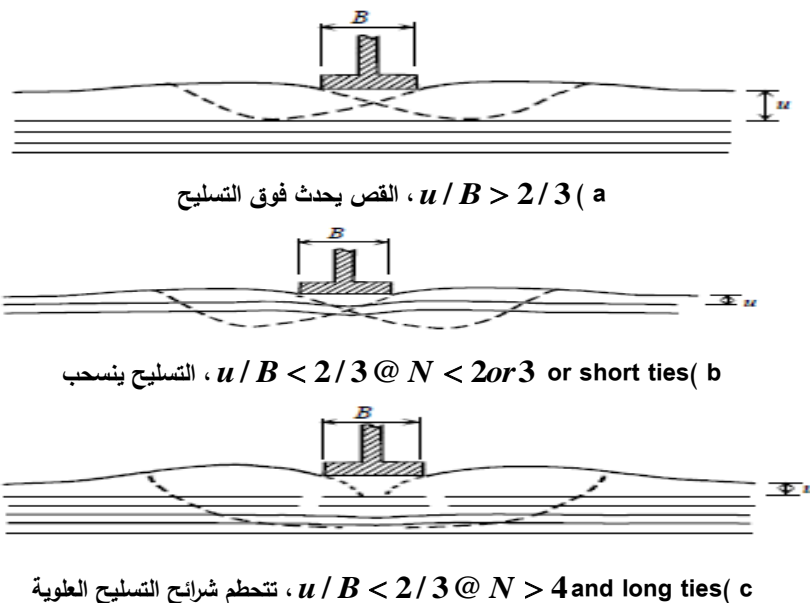
الشكل (1): شكل التربة المسلحة والمتغيرات المستخدمة في البحث

في هذا البحث و بسبب اعتبار طبقة تسليح واحدة فقط (N=1) يكون (u=d). و تم اعتبار قيمة ثابتة لطول التسليح قدره (Lr=6B) اعتماداً على نتائج الأبحاث التي قدمها عدد من الباحثين مثل (Das, et al., 1994). حدد (Binquet and Lee, 1975) ثلاث إمكانيات انهيار محتملة للتربة المسلحة بالاعتماد على مقاومة شد وترتيب التسليح. وذلك بالاستناد إلى نتائج الاختبارات المخبرية، والموضحة في الشكل (2)، وهي:

1 - الانهيار فوق أول طبقة تسليح: يحدث ذلك عندما تتوضع أول طبقة تسليح على عمق u أكبر من القيمة $2B/3$.

2 - الانهيار بالسحب: ويحدث عندما تتوضع أول طبقة تسليح على عمق أقل من القيمة $2B/3$ ، وعندما يكون طول الشرائح صغيراً جداً، أو عند استخدام ثلاث طبقات أو أقل في التسليح.

3 - الانهيار بالشد: ويحدث عندما تتوضع أول طبقة تسليح على عمق أقل من القيمة $2B/3$ ، وعندما يكون طول الشرائح كافياً وعند استخدام أربع طبقات أو أكثر في التسليح.



شكل(2): الموديلات الثلاثة لانهايار التربة المسلحة تحت أساس مستمر (after Binquet and Lee, 1975)

اقترح (Wayne et al., 1998) أربع موديلات ممكنة لانهايار التربة المسلحة، وأن موديل الانهيار المتحكم، يعتمد على ترتيب التسليح وحالة التربة، فإذا كان عمق أول طبقة تسليح أكبر من قيمة محددة، فإن التسليح يتصرف بصفته حداً صلباً ويحدث الانهيار فوق التسليح، إذ إن هذا النوع من الانهيار يمكن تجنبه بوضع طبقة التسليح العلوية على مسافة قريبة من أسفل الأساس. أما إذا كان التباعد الشاقولي بين طبقات التسليح كبيراً جداً، فإن الانهيار سوف يحدث بين طبقات التسليح، إن هذا النوع من الانهيار يمكن تفاديه عن طريق المحافظة على مسافة شاقولية صحيحة بين طبقات التسليح. أما الانهيار على طول منطقة التسليح، فيمكن أن يحدث عندما تكون شرائح التسليح ليست طويلة بشكل كافٍ، ومنطقة التربة المسلحة صلبة جداً، حيث إن كتلة التسليح في هذا النوع من الانهيار تتصرف كأساس صلب عمق تأسيسه يحدد من سماكة منطقة التسليح، وتحسب قدرة تحمل التربة عن طريق الصيغة النظرية لقدرة تحمل التربة. هناك أيضاً انهيار ضمن منطقة التسليح، إذ إنه في هذا النوع من الانهيار تحدد طبقة التسليح بصفتهما طبقتي تربة كما قال (Wayne et al., 1998) تربة قوية تحت تربة ضعيفة.

2) النمذجة العددية (FE-Modeling):

1-5) البرنامج المستخدم (FE-Program):

سيتم في هذه الدراسة استخدام برنامج plaxis هو برنامج يستخدم طريقة العناصر المحددة من أجل التحليل الثنائي الأبعاد (2D) للمنشآت والمسائل الهندسية الجيو تكنولوجية، ويعطي إمكانية استخدام عدد كبير من قوانين المادة الأساسية والمتطورة لنمذجة السلوك الاجهادي - التشوهي الخطي واللاخطي للتربة، إضافةً لإمكانية دراسة الفعل المتبادل بين المنشأ والتربة من خلال عناصر تماس خاصة (interface elements) وإمكانية نمذجة شرائح الجيوغريد من خلال عناصر خطية خاصة (geogrid) (Plaxis, 2005).

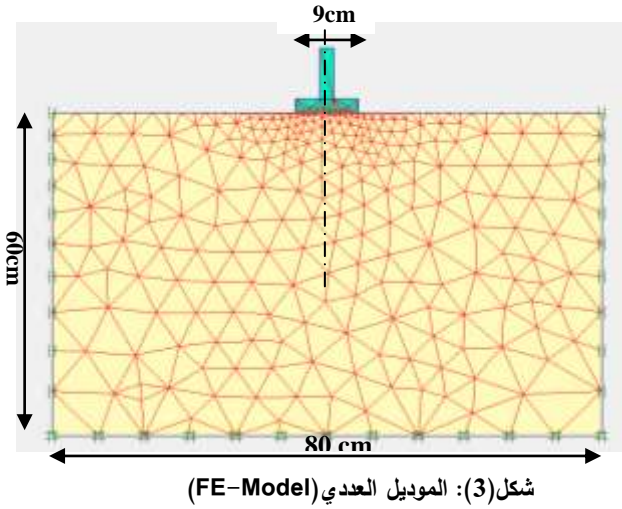
2-5) معايرة النموذج العددي (FE-Modell Calibration):

يهدف التحقق من صلاحية نتائج التحليل العددي بطريقة FEM و معايرة سلوك النموذج المستخدم للتربة تم اجراء نمذجة عددية بطريقة FEM و مقارنة نتائج التحليل العددي مع نتائج القياسات المرجعية

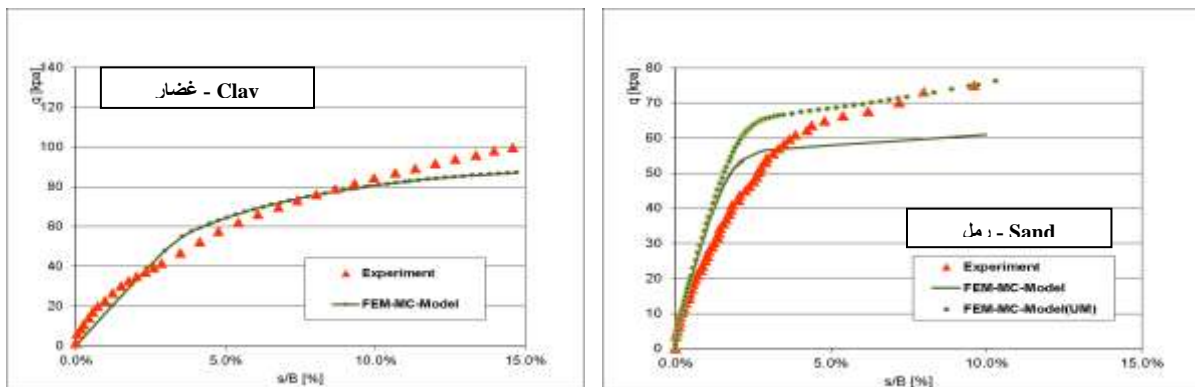
(Lee, et al., 1999) لتجارب مخبرية تمت على نموذج مخبري لأساس مستمر على تربة رملية و أخرى غضارية و التي تم اجراؤها على نموذج مخبري. تم استخدام أبعاد الموديل التجريبي نفسها في تحديد الأبعاد الهندسية لنموذج الـ FEM, ووضع الشروط الطرفية مشابهة لظروف التجربة إذ تكون جوانب الموديل تسمح بالهبوط الشاقولي فقط، ويكون كذلك أسفل الموديل ممنوع من الحركة كما هو موضح في الشكل (3). لتمثيل السلوك الاجهادي - التشوهي للتربة تم استخدام موديل مور-كولومب (MC-Model) و الذي يمكن تلخيص بارامتراته في الجدول (2) بالنسبة للغضار و للرمل.

جدول(1): بارامترات قانون المادة المستخدم (MC-Model)

	Clay	Sand
γ_{unsat}	18kN/m ³	16.5
γ_{sat}	19kN/m ³	18.5
E_{ref}	1200Kpa	20000
ν	0.495	0.28
C_{ref}	14.5Kpa	0.2
ϕ	0	37
ψ	0	7
R_{inter}	0.5	0.8
Condition	Undrained(UU)	Drained (CD)



وقد تمّ نمذجة الأساس بصفته عنصراً صلباً مكافئاً لهبوط منتظم مفروض، أما شرائح التسليح فقد نمذجت من خلال عناصر خطية خاصة تدعى (geogrid)، إذ إن التماس بين هذه العناصر والتربة تمّ نمذجته من خلال عناصر (interface) تأخذ بعين الاعتبار الاحتكاك بين التربة والتسليح (Basudhar et al., 2008) أما الحمولات السطحية المستخدمة في النمذجة فتعبر عن حمولات مكافئة للإجهاد الناتج عن التربة عند منسوب التأسيس. تم تمثيل النتائج برسم المنحني البياني الذي يبين العلاقة بين الإجهاد المطبق والهبوط النسبي (s/B) ومقارنته مع المنحني ذاته المستنتج من التجارب المخبرية و المبين في الشكل (4).



الشكل (4): مقارنة بين نتائج التجارب المخبرية والتحليل العددي من أجل تربة غير مسلحة غضارية ورملية

من الشكل (4) نلاحظ تقارب كبير نسبياً بين نتائج التجارب المخبرية والنمذجة العددية باستخدام موديل مور كولومب (MC-Model) لنمذجة سلوك التربة الغضارية او لنمذجة سلوك التربة الرملية. و كذلك مع نتائج الطرق النظرية حيث أنه حسب مايرهوف يمكن أن نجد أن قدرة تحمل التربة الحدية لحالة أساس مستمر بعرض ($B=9\text{cm}$) يخضع لحمولة شاقولية مركزية منفذ فوق تربة غضارية (حالة غير مصرفة) بتماسك ($C_u=14.5\text{kpa}$) و ($D_f=0$):

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$s_c = d_c = i_c = 1, N_c = 5.14$$

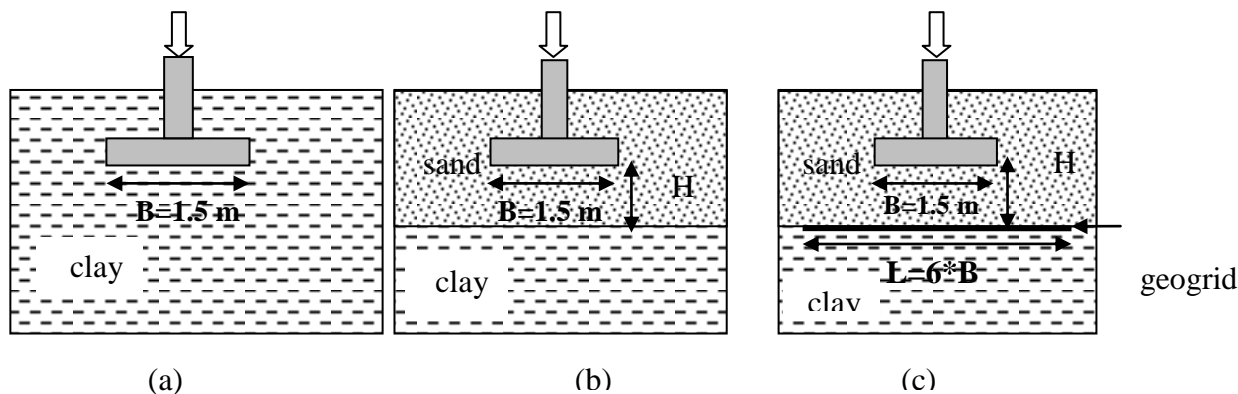
$$q_{ult} = 14.5 \cdot 5.14 \cdot 1 = 74.53\text{kpa}$$

و هذه النتيجة متوافقة نسبياً مع نتائج التجارب المخبرية و نتائج التحليل العددي.

النتائج والمناقشة:

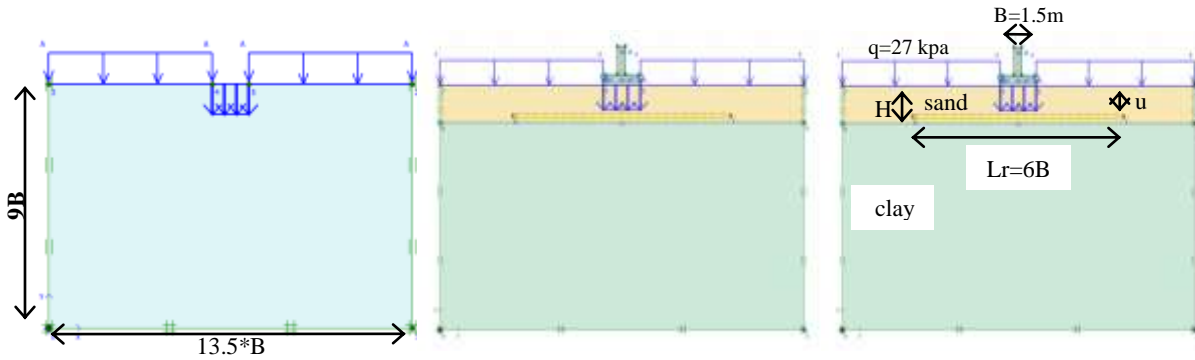
1.6 النمذجة العددية (FE-Modeling):

يوضح الشكل (5) الحالات الثلاثة التي تمت نمذجتها، حيث أن الشكل (1a) يمثل أساس مستمر عرضه (1.5m) متوضع على تربة غضارية ضعيفة التحمل، والشكل (2b) يمثل الأساس المستمر نفسه متوضع على وسادة رملية سماكتها (H) متوضعة على الطبقة الغضارية الضعيفة التحمل بدون تسليح، أما الشكل (3c) فيمثل الأساس متوضعاً على وسادة رملية سماكتها (H)، تفصلها طبقة من الجيوغريد عن طبقة الغضار، طولها ($L_r=6 \cdot B$).



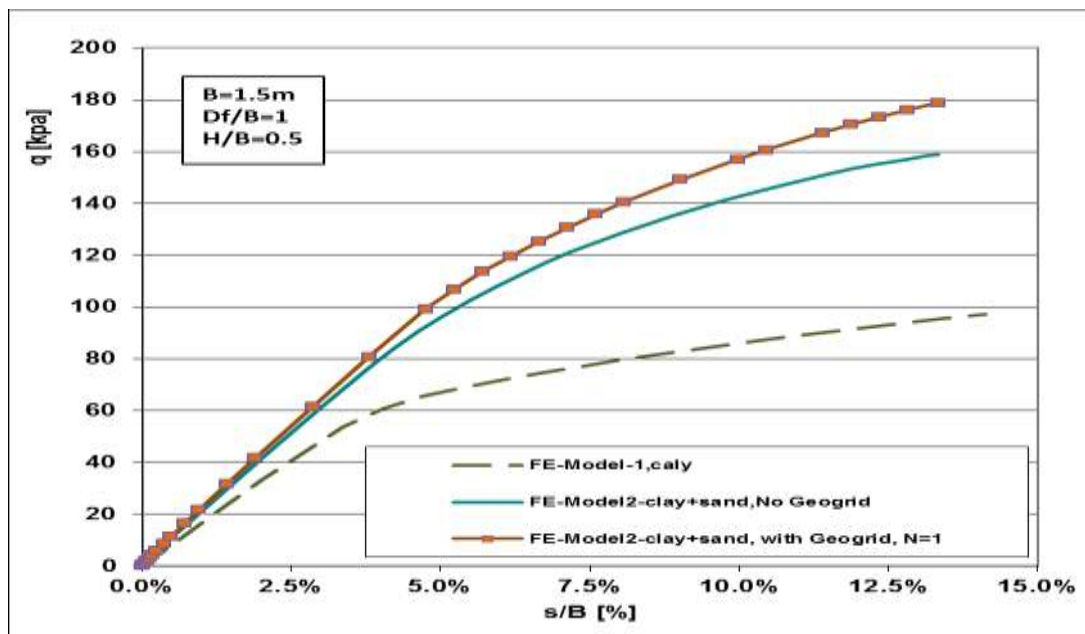
الشكل (5): الحالات الثلاثة التي تم نمذجتها باستخدام طريقة FEM في التحليل العددي

تم إعداد نموذج رياضي لحالة أساس مستمر بعرض ($B=1.5\text{ m}$) متوضع على تربة غضارية ضعيفة التحمل وذلك باستخدام برنامج (Plaxis, V.8.2-5). تم اعتبار الحالة التشوهية - المستوية (Plane strain) و استخدمت شبكة العناصر المنتهية (FE-Mesh) الموضحة في الشكل (6) و المكونة من 620 عنصر مثلثي بـ 15 عقدة. كما تم نمذجة الجيوغريد باستخدام عناصر خطية خاصة تدعى Geogrid ممثلة بصلابتها المحورية ($EA=2000\text{kN/m}$) ، وتم نمذجة السلوك الاجهادي - التشوهي للتربة باستخدام موديل مور- كولومب (جدول 1/1). أما الحمولة الموزعة بانتظام فتمثل ضغط التربة الطبيعي فوق منسوب التأسيس.



الشكل (6): النماذج العددية (FE-Models) المختلفة

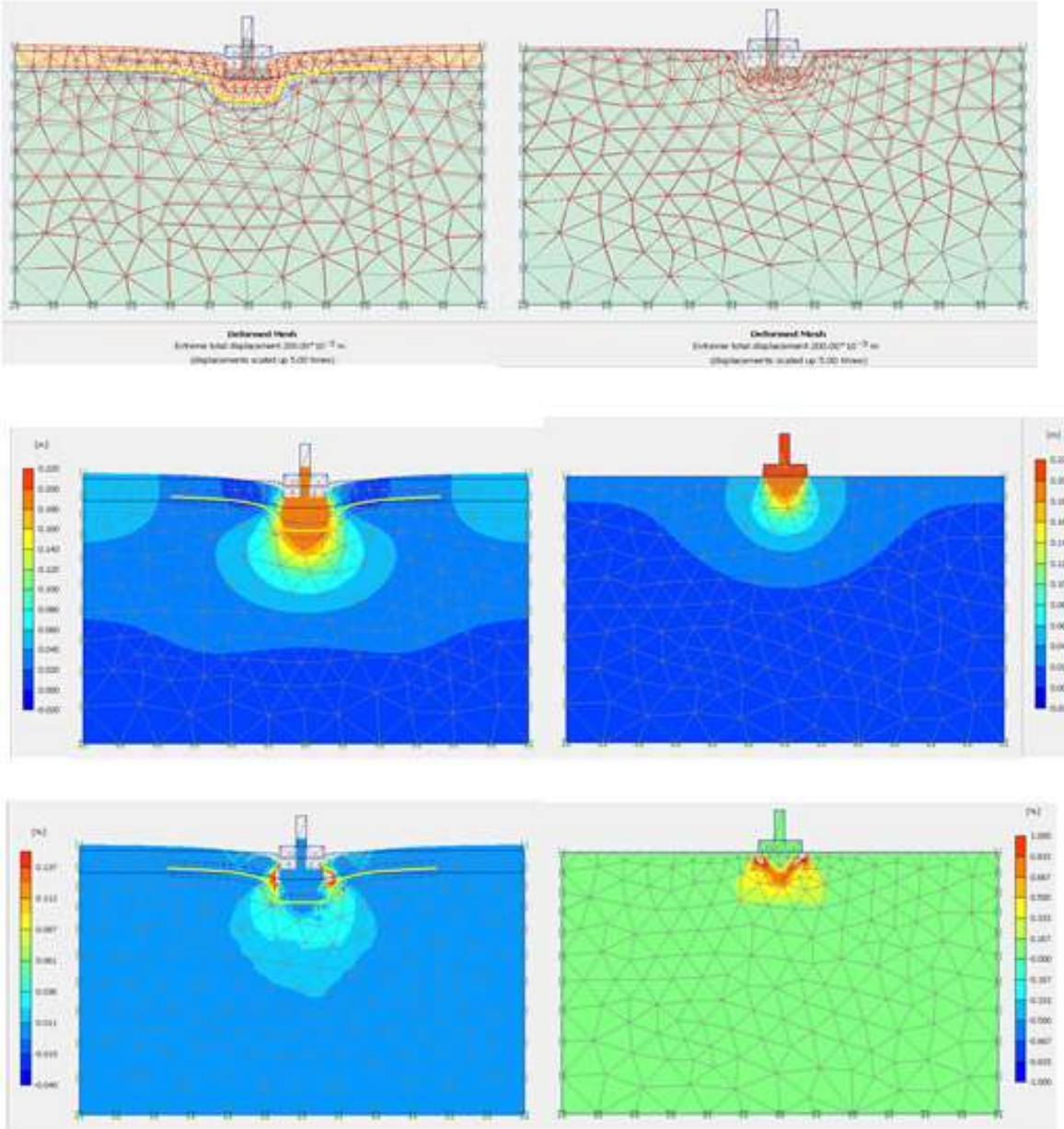
بدايةً تم تحليل الموديل العددي الأول الذي يمثل نموذج الأساس على الغضار (Model-1)، ورسمت النتائج بشكل منحنى الإجهاد المطبق والهبوط النسبي (s/B) وذلك لإلغاء تأثير المقياس (Scale effect). بعدها اجري تحليل للنموذج العددي الممثل لأساس على وسادة رملية بسماكة H بدون تسليح فوق طبقة الغضار. و تم اجراء دراسة بارامترية من أجل سماكات مختلفة للوسادة الرملية . و أخيراً تم تحليل النموذج الثالث بإضافة طبقة تسليح و اجراء دراسة بارامترية على موقع طبقة التسليح. في كل التحليلات تم رسم منحنى الاجهاد - الهبوط النسبي و الشكل (7) يمثل منحنى الاجهاد-الهبوط النسبي من أجل النماذج الثلاثة المذكورة أعلاه من أجل سماكة وسادة تأسيس ($H=0.5B$)، حيث يظهر من الشكل أن قدرة تحمل التربة الغضارية هي الأصغر يليها تربة غضارية مع وسادة رملية غير مسلحة و يليها تربة غضارية مع وسادة رملية مسلحة بطبقة جيوغريد. بعد ذلك تم تحديد



الشكل (7): منحنى الاجهاد - الهبوط للحالات الثلاثة المدروسة.

قيمة الاجهاد الموافق لهبوط نسبي محدد ($s/B=10\%$) كقدرة تحمل التربة الحدية و بعدها يتم حساب معامل زيادة قدرة تحمل التربة النسبي ($BCR=q_r/q_{clay}$) من اجل نفس قيمة الهبوط النسبي. حيث سيتم عرض النتائج من خلال رسم العلاقة بين (BCR) و بين المتغير المدروس. حيث أن القيم الثابتة في هذه الدراسة هي: عرض الأساس (B)، عمق التأسيس ($D_f=B$)، عدد الطبقات ($N=1$)، صلابة الجيوغريد المحورية ($EA=2000kN/m$) و خواص التربة. أما المتغيرات فهي : سماكة الوسادة الرملية ($H=0.25B...2B$)، موقع طبقة الجيوغريد ($u=0.25B-1B$) و نتائج الدراسة البارامترية موضحة في الفقرة القادمة.

يتبين من الشكل (8) مقارنة بين نتائج التحليل العددي للنموذج الأول (أساس على تربة غضارية) و النموذج الثالث (أساس على تربة محسنة بوسادة رملية سماكتها $0.5B$ مع طبقة جيوغريد) و ذلك من حيث الانتقالات الناتجة و شكل الشبكة المشوهة بالمقارنة مع الشبكة غير المشوهة و شكل الانهيار في تربة التأسيس. حيث نجد أن الانهيار في الغضار موضعي بينما في الغضار المسلح يكون بالقص الثاقب في الوسادة و انهيار لاحق في طبقة الغضار.



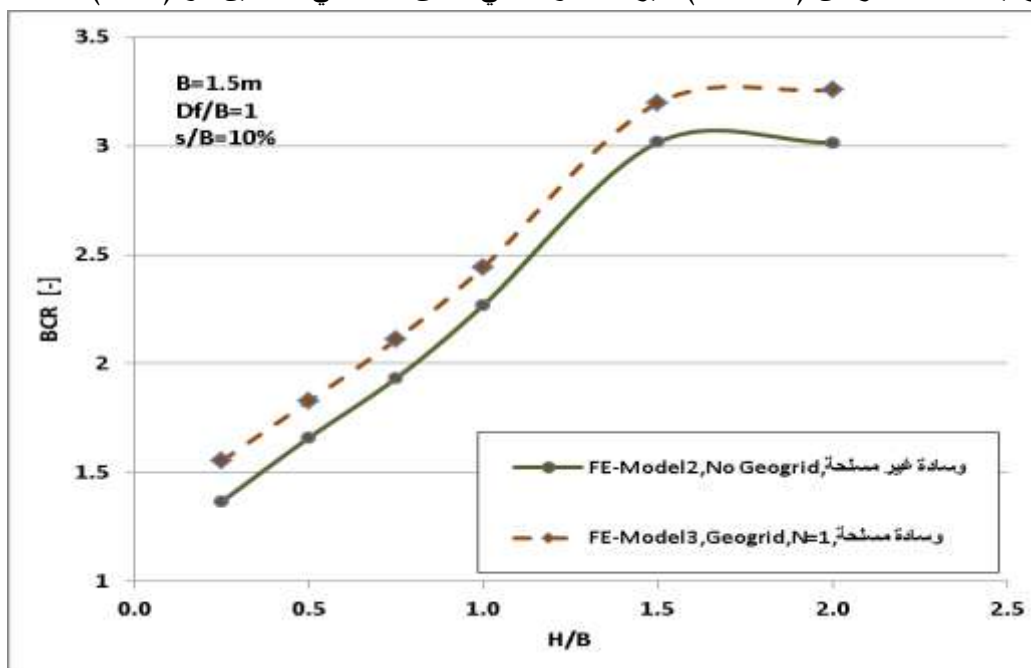
الشكل (8): مقارنة بين نتائج التحليل العددي للنموذج الأول (أساس على تربة غضارية) و النموذج الثالث (أساس على تربة محسنة بوسادة رملية سماكتها 0.5B مع طبقة جيوغريد) و ذلك من حيث شكل الشبكة المشوهة بالمقارنة مع الشبكة غير المشوهة و شكل الانتقالات الناتجة و شكل الانهيار في تربة التأسيس.

2.6. دراسة المتغيرات (Parametric study):

1- دراسة تأثير سماكة طبقة الرمل على قدرة تحمل التربة:

تم اجراء عدد من التحليلات العددية بتثبيت جميع المعطيات و تغيير سماكة طبقة الرمل ($H/B=0.25, \dots, 2$) بعدها تم حساب المعامل (BCR) بالمقارنة بين قدرة تحمل التربة الحدية لحالة الغضار و لحالتي وجود وسادة رملية بدون و مع تسليح بطبقة جيوغريد من أجل هبوط نسبي ($s/B=10\%$)، و الشكل (9) يبين تزايد قيم (BCR) مع تزايد قيم (H/B). كما يبين أن إضافة طبقة الجيوغريد يعطي زيادة في قدرة تحمل التربة قدرها 8% عن حالة وسادة رملية

غير مسلحة و 180% بالمقارنة مع حالة تربة غضارية غير محسنة. و يظهر الشكل 9 أيضاً أن تحسين التربة بوسادة رملية بسماكة أكبر من ($H > 1.5B$) غير فعالة و بالتالي العمق الأعظمي للتحسين هو ($1.5B$).

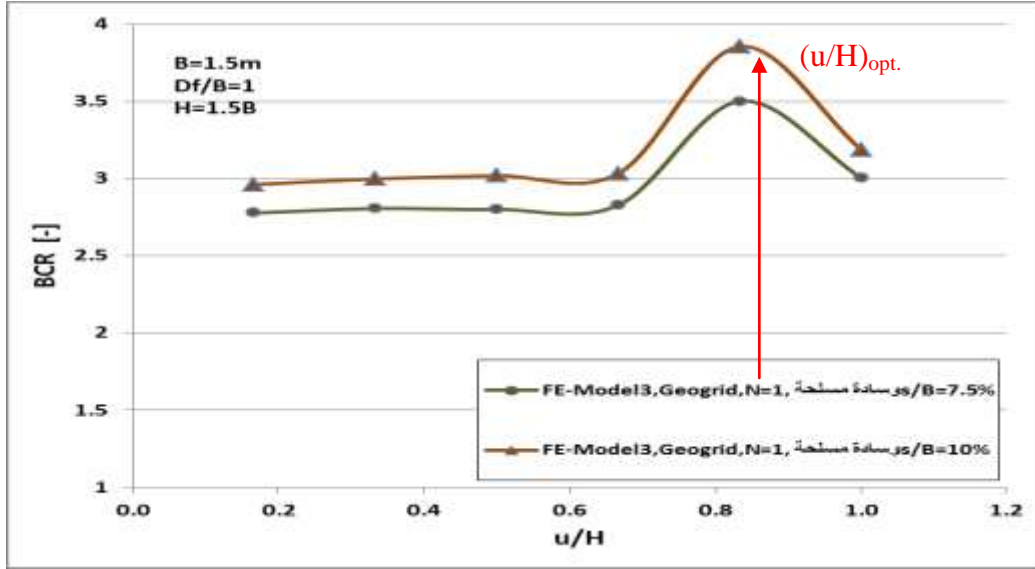


الشكل (9): العلاقة بين نسبة سماكة الرمل إلى عرض الأساس المستمر (H/B) ومعامل زيادة قدرة تحمل التربة (BCR) بعد وضع وسادة رملية سماكتها H غير مسلحة ثم مسلحة بطبقة جيوجريد

2 - دراسة تأثير عمق الطبقة المسلحة :

لدراسة تأثير موقع طبقة التسليح بالجيوجريد على قدرة تحمل التربة، و بالتالي تحديد الموقع الأمثل لوضع هذه الطبقة ضمن الوسادة، تم تغيير نسبة عمق الطبقة المسلحة u إلى عرض الأساس ، وأخذنا النسب التالية ($u/B = 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5$) ، مع تثبيت بقية المعطيات و منها ($H=1.5B$).

ومن أجل كل حالة تم تحديد المنحني الممثل للعلاقة بين الإجهاد المنقول من الأساس والهبوط النسبي (s/B) ومن هذا المنحني تم تحديد قيمة الإجهادات الموافقة لهبوط نسبي ($s/B=10\%$) والتي منها حصلنا على المعاملات (BCR) الموافقة لها كنسبة إلى حالة أساس متوضع على تربة غير مسلحة. وبعد ذلك تم تمثيل العلاقة بين (u/H) و (BCR) كما هو مبين في الشكل (10) من أجل تحديد العمق النسبي الأمثل لطبقة الجيوجريد ضمن الوسادة.



الشكل (10): تأثير العمق النسبي لطبقة الجيوغريد على قدرة تحمل التربة من خلال المعامل زيادة قدرة تحمل التربة (BCR)

نستنتج من المنحني في الشكل (10) بأن معامل قدرة تحمل التربة النسبي (BCR) يأخذ قيمة أعظمية عندما تكون النسبة (u/H=0.83) و بالتالي فإن الموقع الأمثل لوضع طبقة الجيوغريد ضمن الوسادة هو في الجزء السفلي من الوسادة الموافق لهذه النسبة و الذي يعطي زيادة في قدرة تحمل التربة تصل حتى 385% بالمقارنة مع تربة غضارية غير محسنة و غير مسلحة وذلك من أجل وسادة تأسيس سماكتها (H=1.5B) أي بزيادة عن القيمة الأعظمية لحالة موقع الطبقة بين الغضار و الرمل قدرها 20% تقريباً. و يمكن تفسير هذه النتيجة من خلال زيادة فعالية التسليح بسبب ارتفاع معامل الاحتكاك بين الجيوغريد و الرمل من الأعلى و من الأسفل مقارنة بوجود التسليح بين الرمل و بين الغضار.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال نتائج الدراسة العددية ودراسة المتغيرات تم التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات يمكن تلخيصها بما يلي:

يلي:

1. أعطى التحليل العددي بطريقة الـ FEM - برنامج PLAXIS - لدراسة أساس سطحي مستمر على تربة غضارية مسلحة بالجيوغريد نتائج مقبولة مقارنة مع نتائج قياسات مخبرية على نماذج بأبعاد حقيقية، حيث تعكس السلوك الاجهادي - التشوهي للتربة والنموذج بدقة مقبولة.
2. يمكن تحسين قدرة تحمل التربة باستبدال الغضار أسفل الأساس بوسادة تأسيس رمليّة غير مسلحة، حيث تزداد قدرة تحمل التربة بزيادة سماكة الوسادة (H) حتى قيمة (H=1.5B) عندها تنخفض فعالية التحسين و يصبح التحسين بلا جدوى.
3. يمكن زيادة فعالية التحسين من خلال استخدام طبقة تسليح من رقائق الجيوغريد و ذلك بنسبة زيادة قدرها 8% تقريباً عند وضع طبقة الجيوغريد بين الغضار و بين الرمل.
4. تزداد قدرة تحمل التربة و بالتالي فعالية التحسين من خلال وضع التسليح على عمق مناسب يوافق (h/H=0.83) الذي يعتبر العمق الأمثل لرفع فعالية التحسين حتى 120% .

– التوصيات:

1. يوصى مستقبلا بإجراء دراسات تجريبية على نماذج بأبعاد حقيقية، وتوسيع مجال الدراسة من حيث دراسة استخدام طبقات متعددة من الجيوغريد ، تأثير خواص تربة التأسيس.
2. يوصى مستقبلا بإجراء المزيد من الدراسات المقارنة مع الأنواع الأخرى من الأساسات مثل الأساسات المنفردة: المربعة و المستطيلة و الدائرية.
3. يمكن الاستفادة من نتائج هذا البحث و الأبحاث المستقبلية في هذا المجال في توضيح ميزات هذا النوع من النحسين بهدف استخدامها في الدراسات والمشاريع الهندسية.

المراجع:

- 1- Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E., and Yen, S.C. "*The bearing capacity of a strip foundation on geogrid reinforced sand.*" Geotextiles and Geomembranes, Vol. 12, 1993, Pp. 351-361.
- 2- Das, B.M., and Omar, M.T. "*The effects of foundation width on model tests for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement.*" Geotechnical and Geological Engineering, 1994, Vol. 12, 2008, Pp. 133-141.
- 3- Binquet, J. and Lee, K.L., 1975a. "*Bearing capacity tests on reinforced earth slabs.*" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No.GT12, Pp. 1241-1255.
- 4- Binquet, J. and Lee, K.L., 1975b. "*Bearing capacity analysis on reinforced earth slabs.*" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No.GT12, Pp. 1257-1267.
- 5- Wayne, M.H., Han, J., and Akins, K. "*The design of geosynthetic reinforced foundations.*" Proceedings of ASCE's 1998 Annual Convention & Exposition, ASCE Geotechnical Special Publication, 1998, 76, Pp. 1-18.
- 6- Lee, K.M., Manjunath, V.R., and Dewaikar, D.M. "*Numerical and model studies of strip footing supported by a reinforced granular fill-soft soil system.*" Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, 1999, Pp. 793-806.
- 7- Basudhar ,P.K., Dixit, P.M. " *Finite element analysis of geotextile-reinforced sand-bed subjected to strip loading,* " Vol. 26, 2008, Pp. 91-99.