

دراسة عددية لأداء أساس مستمر فوق تربة غضارية باستخدام التربة المسلحة بحقائب الجيوغريد

سميحة محمود عجيل*

(تاريخ الإيداع 13 / 12 / 2017. قُبل للنشر في 19 / 7 / 2018)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث بشكل أساسي لدراسة الفائدة المثلى من استخدام حقائب الجيوغريد المصنعة (Soilbags) 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 الحقائب المصنعة تحت الأساس. أظهرت نتائج التحليل العددي أن إضافة طبقة تسليح من الحقائب المصنعة إلى التربة يحسن من قدرة تحمل التربة بشكل واضح كما أنه يؤدي إلى تخفيض الهبوط الناتج تحت الأساس، وإن وضع التسليح في التربة المسلحة يؤدي إلى توزيع للحمولات على مساحة أكبر بالتالي يؤدي إلى الإقلال من تركيز الإجهادات ويسبب توزيع 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: حقائب التربة Soilbags - التربة المسلحة - طريقة العناصر المنتهية FEM - برنامج Plaxis

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

Numerical Analysis on Performance of strip footing on Clay Soil reinforced with Geogrid bags

Samiha Ogeil*

(Received 13 / 12 / 2017. Accepted 19 / 7 / 2018)

□ 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 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: Geogrid- Soilbags – Strip footing – FEM – Plaxis

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

مقدمة:

عند تنفيذ الأساسات السطحية على ترب تأسيس ضعيفة التحمل، هناك عدة حلول مستخدمة في الحياة العملية لتحسين تربة التأسيس بطرق مختلفة منها: تعميق التأسيس، استبدال التربة، تغيير نوع الأساس، زيادة عرض الأساس، وحديثاً تسليح تربة التأسيس بشرائح (جيوغريد/جيوستيل)، أو بحقائب التربة. تعرف حقائب التربة (Soilbags) أو حقائب الرمل (Sandbags) (Matsuoka, 2006) بأنها أكياس من المواد البوليمرية (البولي ايثيلين) المملوءة بالمواد الحبيبية مثل الرمل والحصى أو مخلفات البيتون المعاد تدويرها والمعدة للاستخدام، حيث تعتمد نوعية مواد تعبئة حقائب التربة على الغاية من إنشائها وعلى توفرها. تستخدم حقائب التربة عادة لأغراض مؤقتة لفترة طويلة (مثلاً حواجز الفيضانات)، إلا أنه حديثاً والجديد نسبياً استخدامها في المنشآت الدائمة. و على الرغم من أن استخدام حقائب التربة يعتبر حديث نسبياً، إلا أن الأبحاث الحديثة بينت العديد من المزايا لاستخدامها يمكن تلخيصها على النحو التالي:

- 1- زيادة قدرة تحمل التربة على التربة الطرية بشكل ملحوظ.
 - 2- سهولة التنفيذ، إذ ليست هناك حاجة لمعدات البناء الثقيلة.
 - 3- حقيبة التربة صديقة للبيئة بسبب عدم استخدام الاسمنت أو مواد كيميائية، مواد تعبئة حقائب التربة يمكن أن تكون من مخلفات البناء مثل مواد إعادة تدوير البيتون و الإسفلت و البلاط.
 - 4- يمكن مقاومة الصقيع الشديد باستخدام المواد الخشنة الحبيبات بحقائب التربة.
- يتناول هذا البحث دراسة طريقة جديدة في تقوية وتحسين التربة تحت الأساسات المنفذة على ترب غضارية ضعيفة التحمل من خلال استخدام حقائب التربة (Soilbags) المسلحة بالجيوغريد أو الجيوستيل وذلك من خلال دراسة عددية باستخدام طريقة (FEM)، تهدف إلى التحقق من صحة الأداء المتوقع لحقائب التربة و فعالية هذه الحقائب كوسيلة لتحسين تربة التأسيس و رفع قدرة تحمل التربة.

أهمية البحث وأهدافه:

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

- عدد الحقائب و عمقها على قدرة تحمل التربة.
- عمق أول حقيبة عن اسفل الأساس من خلال دراسة تأثير النسبة.
- الصلابة المحورية للحقائب (EA).

يساعد البحث في فهم أفضل لسلوك تربة التأسيس الغضارية المسلحة بحقائب الجيوغريد أو الجيوستيل الرملية 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 تقليل انضغاطها بكلفة اقتصادية أقل.

منهجية البحث ومراحله:

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن، وباستخدام طريقة العناصر المنتهية، لأساس مستمر منفذ على تربة غضارية ضعيفة التحمل حيث تمّ إتباع المراحل التالية في اتمام البحث:

1. معايرة النموذج العددي والتحقق من السلوك الاجهادي- التشوهي للتربة ومن صلاحية النتائج من خلال مقارنة النتائج التجريبية المرجعية لمنحني الاجهاد-الهبوط مع نتائج التحليل العددي.
2. إجراء نمذجة عددية لأساس مستمر على تربة غضارية غير مسلحة (Model-1).
3. إجراء نمذجة عددية لأساس مستمر على حقيبة رملية مسلحة فوق الطبقة الغضارية (Model-2).
4. إجراء نمذجة عددية لأساس مستمر على عدة حقائب رملية مسلحة بالجيوغريد (Model-3).
5. إجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على رفع قدرة تحمل التربة (تأثير بعد أول طبقة تسليح عن أسفل الأساس، تأثير عدد شرائح التسليح، تأثير عمق التربة المسلحة،....).

(1) الدراسات المرجعية:

تم تحديد قيمة المعامل (BCR) الذي يعبر عن الزيادة في قدرة تحمل التربة، بعد تسليحها بحقائب التربة و هو يساوي نسبة قدرة تحمل التربة بعد التسليح، إلى قدرة تحمل التربة قبل التسليح كما يلي:

$$\text{Bearing Capacity Ratio} = \frac{(\text{reinforced soil})}{(\text{unreinforced soil})}$$

$$\text{BCR} = \frac{q_R}{q_o}$$

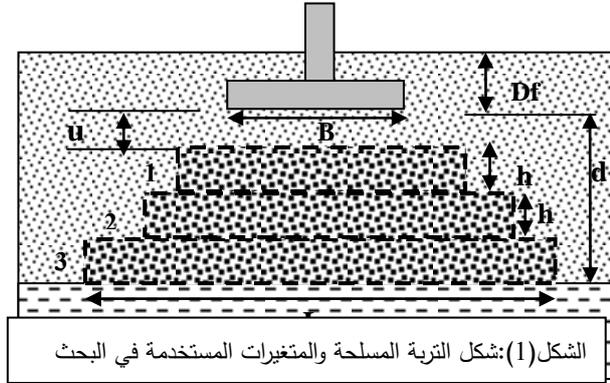
q_R : قدرة تحمل التربة بعد التسليح.

q_o : قدرة تحمل التربة قبل التسليح.

استخدمت في هذه الأبحاث عدة متغيرات لتحديد قيمة

المعامل BCR أهمها:

N : عدد طبقات التسليح، h : سماكة الوسادة الرملية. u :



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

عمق أول طبقة تسليح تحت الأساس. d : عمق آخر طبقة تسليح تحت الأساس، D_f : عمق التأسيس. L_r : طول طبقات التسليح، (EA) : صلابة طبقات التسليح المحورية. و يوضح الشكل (1) شكل التربة المسلحة بالحقائب و المتغيرات المستخدمة في البحث.

تم التحقق من السلوك الميكانيكي لحقيبة تربة واحدة تحت ضغط راسي من قبل (Matsuoka and Liu, 2006) اللذين اقترحا أيضاً نموذج تحليلي مبسط، تم التحقق من صحة الطريقة المقترحة من خلال ضغط ذو محورين واختبارات الضغط غير المحصور.

درس (Lohani, et al., 2006) تأثير مواد حقيبة التربة، نوع تربة التعبئة، عدد حقائب التربة على مقاومة الضغط و مقاومة القص في وتد - حقيبة التربة. وتم استنتاج أن الضغط الأولي لحقائب التربة وتحميلها المسبق يقلل من تشوه الزحف و يزيد من الصلابة الأولية للحقائب. قام (Muramatsu, et al., 2007) بإجراء تحليل عددي لتربة مسلحة باستخدام حقائب التربة و ذلك باستخدام تحليل العناصر المنتهية اللدن - المرن (FEA)، حيث مثلت حقائب التربة باستخدام عناصر الجملون وقد أظهرت النتائج العددية توافقاً جيداً مع الاختبارات النموذجية ثنائية الأبعاد على قضبان الألمنيوم كماً و نوعاً.

في الآونة الأخيرة أجرى (Tantono and Bauer, 2008) تحليلاً عددياً لحقيبة رمل تحت ضغط شاقولي حيث استخدم الباحثون نموذج (لدن- مرن - بشكل تام - خطياً) لتمثيل الحقيبة، بحيث نمذجت الحقيبة مع عناصر الغشاء

و اعتبرت أسطح التماس بين التربة و الحقيبة عديمة الاحتكاك و متشابكة ، كما تم التحقق من تطور قوة الشد داخل الحقيبة.

في الدراسة التي قام بها (Ansari, et al.,2011) قدم نموذج عددي لتحليل سلوك المواد الحبيبية المغلفة بالبولي إيثيلين تحت ضغط رأسي باستخدام برنامج ABAQUS لتحليل سلوك حقائب التربة مع استخدام مور كولومب كقانون مادة لتمثيل سلوك التربة و قانون مادة (لدن-تام-من-خطي) لتمثيل حقيبة البولي إيثيلين، أما سطح التماس بين الحقيبة و التربة فقد تم نمذج مع قيود اتصال.

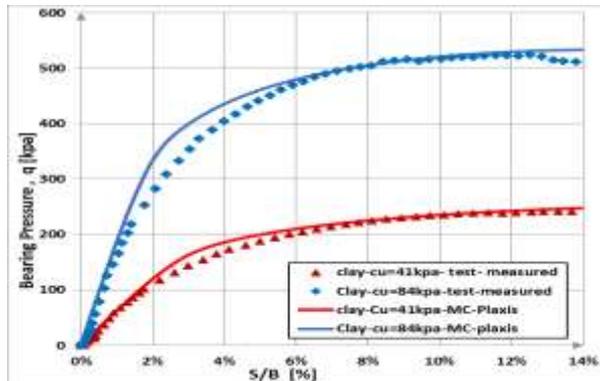
(2) النمذجة العددية لأساس مستمر على تربة مسلحة بالجيوريد (FE-Modeling):

(1-5) البرنامج المستخدم (FE-Plaxis Program):

برنامج Plaxis و هو برنامج يستخدم طريقة FEM من اجل التحليل الثنائي الأبعاد (2D) للمنشآت والمسائل الهندسية الجيو تكنولوجية، تم استخدامه في هذه الدراسة لأنه يمكننا من استخدام عدد كبير من قوانين المادة الأساسية والمتطورة لنمذجة السلوك الاجهادي-التشوهي، إضافةً لإمكانية دراسة الفعل المتبادل بين المنشأ و التربة من خلال عناصر تماس خاصة (interface elements) وإمكانية نمذجة حقائب الجيوريد من خلال عناصر خطية خاصة (geogrid) (Plaxis, 2005).

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

تم معايرة سلوك النموذج والتحقق من صلاحية نتائج التحليل العددي بطريقة FEM من خلال مقارنة نتائج التحليل العددي مع نتائج تجارب مخبرية مرجعية (Lee, et al., 1999) لأساس مستمر على تربة غضارية. وتم نمذجة السلوك الاجهادي-التشوهي للتربة باستخدام موديل مور - كولومب (MC-Model) والذي يمكن تلخيص بارامترات في الجدول (1).



الشكل (2): مقارنة بين نتائج التجارب المخبرية والتحليل العددي من أجل تربة غضارية غير مسلحة

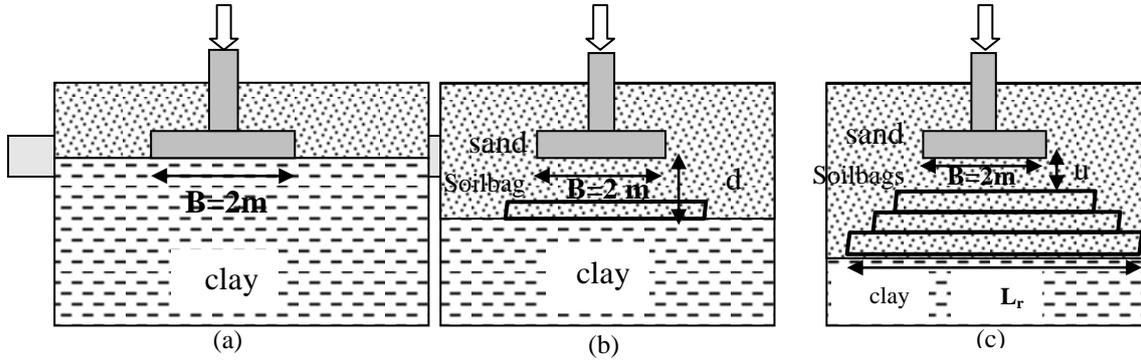
(3-5) النموذج العددي (FE-Model):

يوضح الشكل (3) النماذج الثلاثة المستخدمة في هذا البحث، حيث أن الشكل (3a) يمثل أساس مستمر عرضه (2m) متوضع على تربة غضارية ضعيفة التحمل، والشكل (3b) يمثل الأساس المستمر متوضع على حقيبة رملية واحدة على عمق

جدول (1): بارامترات قانون المادة المستخدم (MC) تظهر المقارنة الموضحة في الشكل (2) تقارباً كبيراً نسبياً بين نتائج التجارب المخبرية والنمذجة العددية باستخدام موديل مور كولومب (MC-Model).

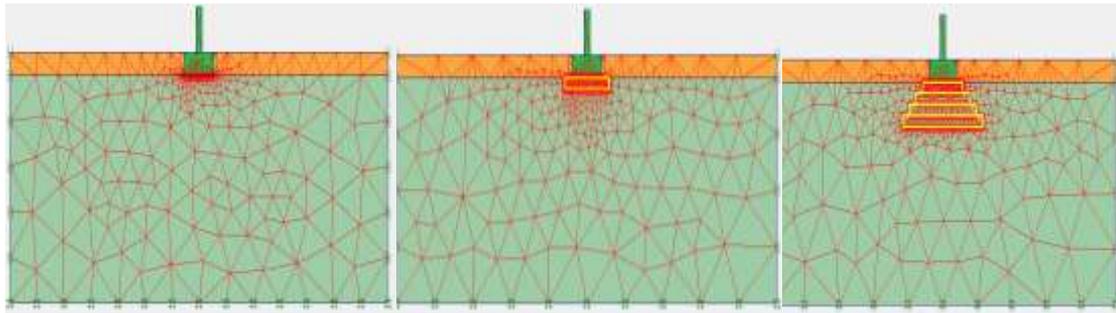
Soil	Clay1	Clay2
Material Model	MC	MC
γ_{unsat}	18 kN/m ³	18.6 kN/m ³
γ_{sat}	19.4 kN/m ³	19.9 kN/m ³
E_{ref}	2800 Kpa	8600 Kpa
ν	0.495	0.495
C_{ref}	41 Kpa	84 Kpa
ϕ	0	0
Condition	Undrained	Undrained

(d) متوضعة على الطبقة الغضارية، أما الشكل (3c) فيمثل الأساس متوضعاً على عدة حقائب رملية مسلحة بالجيوغريد فوق طبقة الغضار.



الشكل (3): الحالات الثلاثة التي تم نمذجتها باستخدام طريقة FEM في التحليل العددي

تم إعداد نموذج رياضي لحالة أساس مستمر بعرض $(B=2\text{ m})$ متوضع على تربة غضارية ضعيفة التحمل مع و بدون حقائب رملية مسلحة، و ذلك باستخدام برنامج (Plaxis, V.8.6)، من أجل الحالة التشوهية - المستوية (Plane strain) و استخدمت عناصر مثلثية بـ 15 عقدة، كما نمذجت حقائب التربة المسلحة بالجيوغريد باستخدام عناصر خطية خاصة تدعى Geogrid ممثلة بصلابتها المحورية (EA)، إذ إن التماس بين هذه العناصر والتربة تم نمذجته من خلال عناصر خاصة (interface) تأخذ بعين الاعتبار الاحتكاك بين التربة والتسليح وتم نمذجة السلوك الاجهادي-التشوهي للتربة للرمل و للغضار باستخدام قانون مور-كولومب (جدول 2). وقد تم نمذجة الأساس بصفته عنصراً صلباً مكافئاً لهبوط منتظم، 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) ، و ذلك لالغاء تأثير المقياس (Scale effect). و يوضح الشكل (4) نتائج النمذجة العددية لحقبة واحدة و لأربعة حقائب.



الشكل (4): النماذج العددية (FE-Models) المختلفة لحقبة واحدة و لأربعة حقائب.

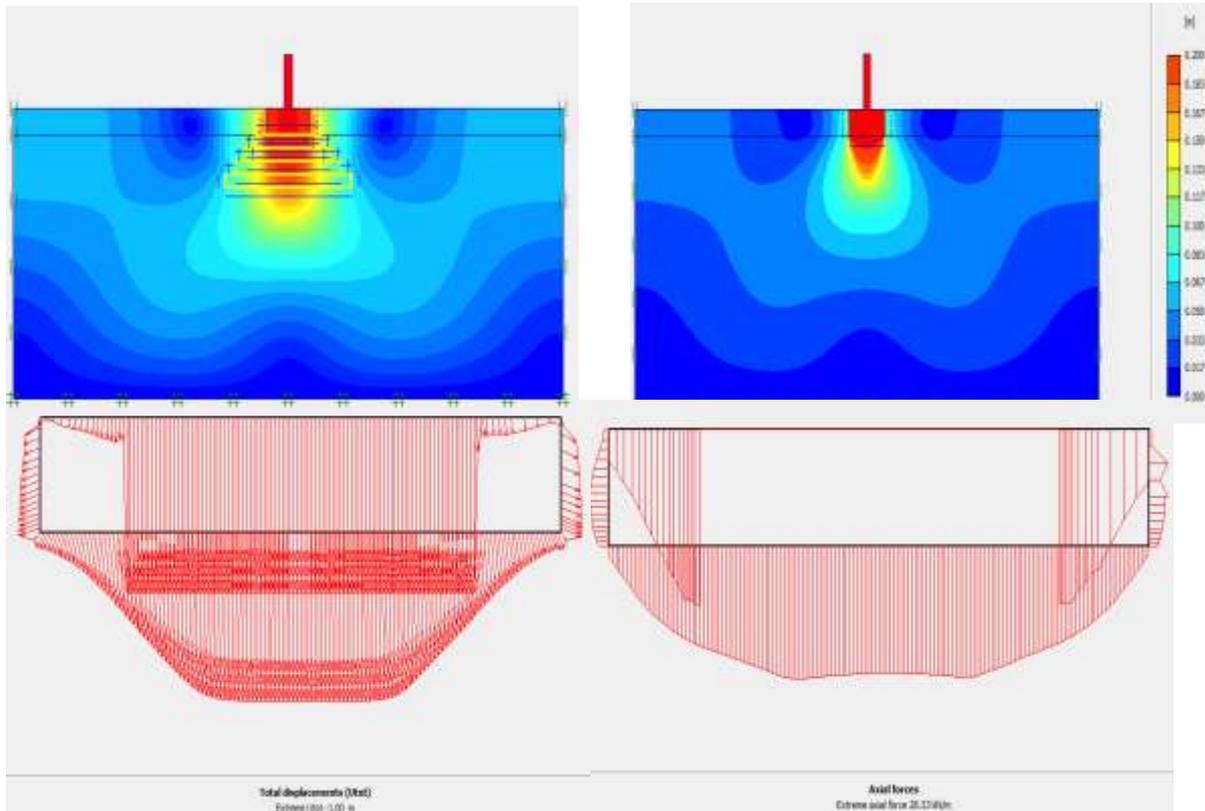
بعد ذلك تم تحديد قيمة الاجهاد الموافق لهبوط نسبي محدد $(s/B=10\%)$ كقدرة تحمل التربة الحدية و بعدها تم حساب معامل زيادة قدرة تحمل التربة النسبي $(BCR=q_R/q_{clay})$ من اجل نفس قيمة الهبوط النسبي. حيث تم عرض النتائج من خلال رسم العلاقة بين (BCR) و بين المتغير المدروس. والمتغيرات هي: عدد الطبقات (N)، عمق التحسين بالحقائب (d)، صلابة الجيوغريد المحورية (EA)، عمق أول حقبة عن اسفل الأساس (u/B) .

Material Model	MC	MC
γ_{unsat}	18 kN/m ³	16 kN/m ³
γ_{sat}	19.4 kN/m ³	18 kN/m ³
E_{ref}	2800 Kpa	40000 Kpa
ν	0.495	0.25
C_{ref}	41 Kpa	0 Kpa
ϕ	0	37
Condition	Undrained	drained

جدول(2):بارامترات قانون المادة المستخدم (MC)

النتائج والمناقشة:

يظهر الشكل (5) مقارنة بين الانتقالات لحالة الغضار غير المسلح و لحالة الغضار المسلح بحقائب الجيوغريد، كما يظهر شكل الانتقالات ضمن الجيوغريد وقوى الشد فيها.

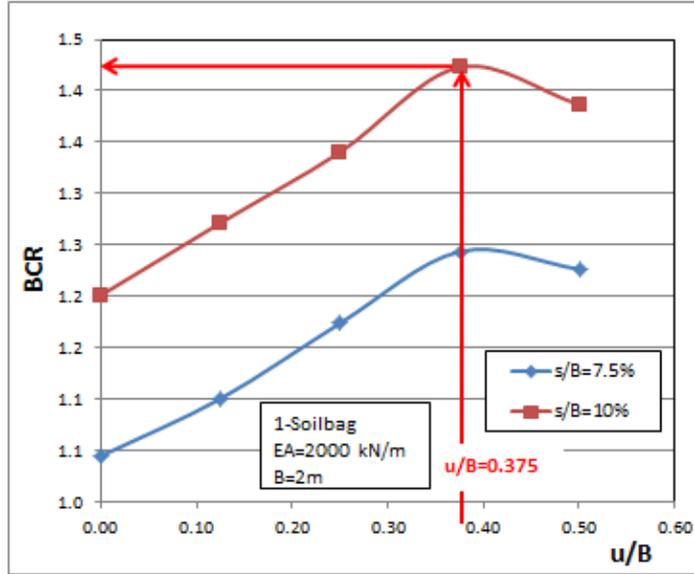


الشكل (5): مقارنة بين الانتقالات لنموذج الغضار غير المسلح و الغضار المسلح بالحقائب

تأثير عمق أول حقيبة عن اسفل الأساس:

لدراسة تأثير موقع أول حقيبة تسليح بالجيوغريد على قدرة تحمل التربة، و بالتالي تحديد الموقع الأمثل لوضع هذه الطبقة ضمن الوسادة، تم تغيير نسبة عمق الحقيبة المسلحة u إلى عرض الأساس، وأخذنا النسب التالية ($u/B=0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5$) ، ومن أجل كل حالة تم تحديد المنحني الممثل للعلاقة بين الإجهاد

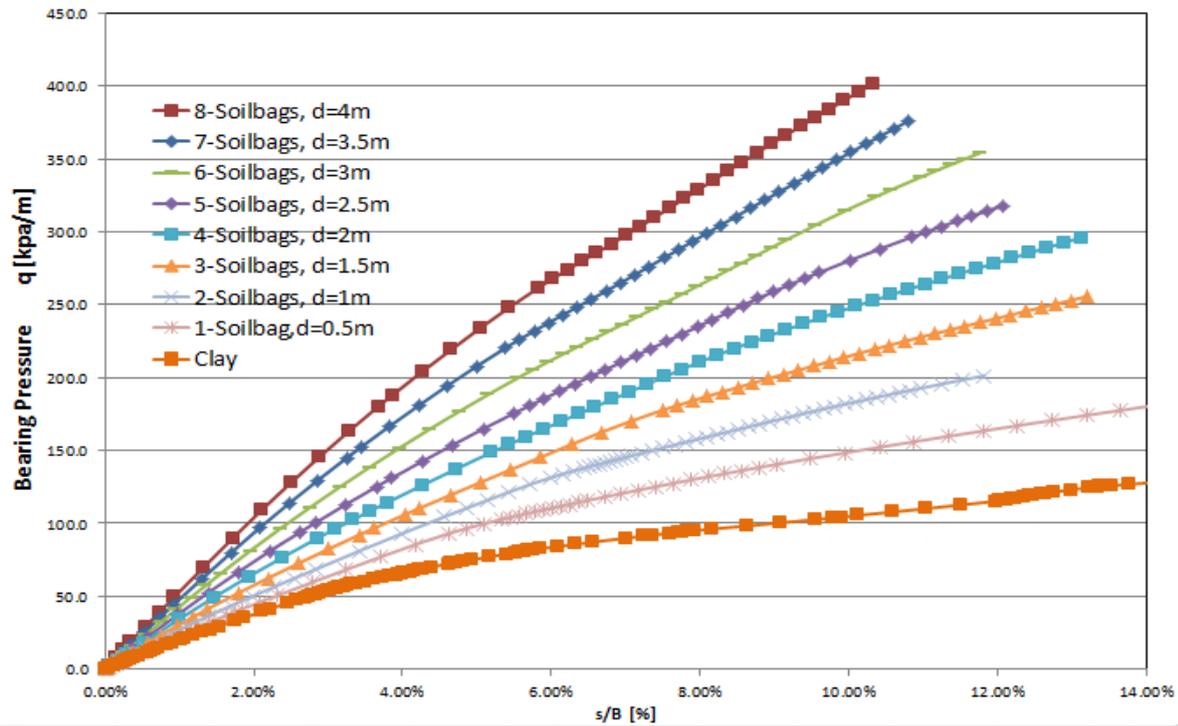
المنقول من الأساس والهبوط النسبي (s/B) ومن هذا المنحني تم تحديد قيمة الإجهادات الموافقة لهبوط نسبي ($s/B=10\%$) والتي حصلنا على المعاملات (BCR) الموافقة لها كنسبة إلى حالة أساس متوضع على تربة غير مسلحة. وبعد ذلك تم تمثيل العلاقة بين (u/B) و (BCR) كما هو مبين في الشكل (6) من أجل تحديد العمق النسبي الأمثل لطبقة الجيوغريد ضمن الوسادة. و يظهر من الشكل (6) أن العمق الأمثل لأول حقيبة تسليح هو تقريباً موافق للنسبة ($u/B=0.375$) وهذه النتيجة تتوافق مع نتائج الأبحاث على تربة مسلحة بشرائح الجيوغريد و التي تقع بين 0.3 و 0.5.



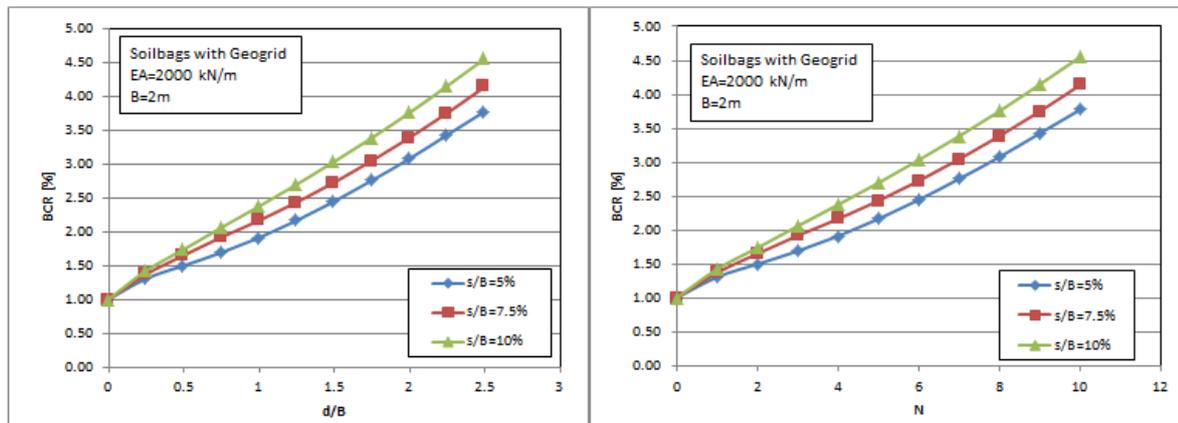
الشكل (6): تأثير عمق أول حقيبة على المعامل (BCR)

■ تأثير عدد الحقائب و عمقها على قدرة تحمل التربة BCR :

تم إجراء عدد من التحليلات العددية (FE -Models) بنتيبت جميع المعطيات و تغيير عدد الحقائب و بالتالي عمق الوسادة المحسنة (d)، مع المحافظة على العمق الأمثل لأول حقيبة تسليح موافق للنسبة ($u/B=0.375$) يبين الشكل (7) منحنيات الاجهاد- الهبوط لحالة التربة الغضارية غير المسلحة و المسلحة بعدد مختلف من الحقائب الرملية بالجيوغريد. تم في الشكل (8) استنتاج العلاقة بين المعامل (BCR) و بين عدد الحقائب (N) و كذلك بين العمق النسبي للحقائب (d/B) و الذي يظهر من جهة تزايد قدرة تحمل التربة مع تزايد عدد الحقائب (N) بشكل شبه خطي و مع زيادة عمق الحقائب من جهة أخرى. كما يبين أن إضافة حقيبة رمل مسلحة بالجيوغريد يعطي زيادة في قدرة تحمل التربة قدرها 50% بالمقارنة مع حالة تربة غضارية غير مسلحة وتصل الزيادة حتى 140% في حال استخدام اربع حقائب.



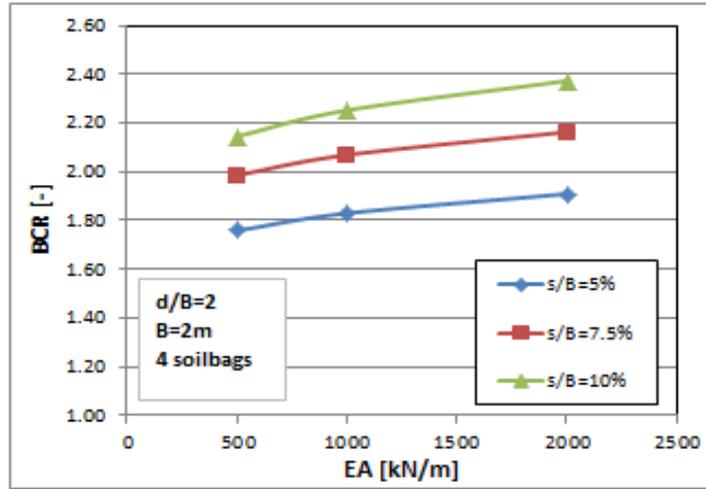
الشكل (7): منحنيات الاجهاد- الهبوط لحالة التربة الغضارية غير المسلحة و المسلحة بعدد مختلف من الحقائب الرملية.



الشكل (8): تأثير عدد الحقائب و عمقها على معامل زيادة قدرة تحمل التربة (BCR)

■ تأثير الصلابة المحورية للحقائب (EA):

تم تغيير الصلابة المحورية للحقائب المدروسة ($EA=500,1000,2000 \text{ kN/m}$) مع ثبات بقية المعطيات و أظهرت النتائج الموضحة في الشكل (9) أن تأثير الصلابة ضعيف نسبياً على قدرة تحمل التربة حيث تزداد قدرة التحمل (BCR) بحدود 15-20% تقريباً عندما تزداد الصلابة المحورية من 500 kN/m إلى 2000 kN/m على الترتيب.



الشكل (9): تأثير الصلابة المحورية لحقائب الجيوغريد على (BCR)

الاستنتاجات والتوصيات:

- من خلال نتائج الدراسة العددية ودراسة المتغيرات تم التوصل إلى الاستنتاجات التي يمكن تلخيصها بما يلي:
1. أعطى التحليل العددي بطريقة الـ FEM أن قدرة تحمل التربة لأساس سطحي مستمر على تربة غضارية تزداد بشكل ملحوظ باستخدام حقائب مسلحة بالجيوغريد حيث يصل معامل قدرة تحمل التربة (BCR) إلى 1.5 عند استخدام حقيبة واحدة ، ويصل (BCR) إلى 2.4 عند استخدام 4 حقائب.
 2. يمكن زيادة فعالية التحسين من خلال وضع أول حقيبة مسلحة على عمق قدره (u/B=0.375) أسفل منسوب التأسيس.
 3. إن تأثير صلابة الجيوغريد على فعالية التحسين ضعيف نسبياً و لا يتجاوز 15 - 20%.

- التوصيات:

1. يوصى مستقبلاً بإجراء دراسات تجريبية على نماذج بأبعاد حقيقية، وتوسيع مجال الدراسة من حيث دراسة استخدام طبقات متعددة من الجيوغريد ، تأثير خواص تربة التأسيس.
2. يوصى مستقبلاً 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 التحسين بهدف استخدامها في الدراسات والمشاريع الهندسية.

المراجع:

- [1] ANDRAWES, K. Z., MCGOWN, A., WILSON-FAHMY, R. F. & MASHHOUR, M.M., "The finite element method of analysis applied to soil-geotextile systems.", *Proc. Second Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, 2* :690-700, 1982.
- [2] ANSARI Y, MERIFIELD R, YAMAMOTO H, SHENG D., "Numerical analysis of soilbags under compression and cyclic shear". *Comput. Geotech.* 38:659–68, 2011.
- [3] BASUDHAR, P.K. AND DIXIT, P.M., "Finite element analysis of geotextile-reinforced sand-bed subjected to strip loading." Vol. 26, Pp. 91-99, 2008.
- [4] CHEN, Q., "An Experimental Study on Characteristics and Behavior of Reinforced Soil Foundation", A PhD Dissertation submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University, 2007.
- [5] MATSUOKA H, LIU S. A., "new earth reinforcement method using soilbags". London: Taylor & Francis; 2006.
- [6] MURAMATSU D, ZHANG F, SHABIN HM., "Numerical simulation on bearing capacity of soilbag-reinforced ground considering finite deformation". *Jpn Geotech.* 2:11–23; 2007.
- [7] PATRA, C.R., DAS B.M., AND ATALAR, C., "Bearing capacity of embedded strip foundation on geogrid-reinforced sand.", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 23, Pp. 454-462, 2005.
- [8] PLAXIS. "Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analyses-User's Manual", Version 8.2-8.6, Delft, The Netherlands, 2005.
- [9] ROWE, R. K., MACLEAN, M. D. & BARSVARY, A. K., "The observed behaviour of a geotextile reinforced embankment constructed on peat", *Canadian Geotechnical J.*, 21 (2) 289-304, 1984.
- [10] TANTONO SF, BAUER E., "Numerical simulation of a Soilbag under vertical compression". In: *Proc. of the 12th int. conf. of int. association for computer methods and advances in geomechanics*, Goa, India; 2008.