

## دراسة عددية لمشكلة التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين يستندان على تربة رملية

الدكتور صفوان عبدالله\*

الدكتور توفيق فياض\*\*

آمنة سلمان\*\*\*

(تاريخ الإيداع 20 / 12 / 2018. قُبِلَ للنشر في 13 / 3 / 2019)

### □ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة تأثير تداخل أساسين شريطيين متجاورين يستندان على تربة رملية في قدرة تحمل وهبوط كل منهما باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM وفق برنامج PLAXIS 2D، تمت الدراسة من أجل ثلاثة أنواع من الترب الرملية (مخلخلة، متوسطة الكثافة، كثيفة)، وتم التركيز في دراستنا على التربة الرملية متوسطة الكثافة، وأجراء دراسة بارامترية لبعض أهم العوامل المؤثرة في قيم قدرة التحمل والهبوط (زاوية الاحتكاك الداخلية  $\theta$ ، عمق منسوب التأسيس  $D_f$ ). حيث لاحظنا أن كل من قدرة التحمل والهبوط النهائيين لحالة الأساسين الشريطيين المتداخلين تزداد مع نقصان المسافة بينهما  $S$  حتى يصل إلى قيمة أعظمية والتي تقابل مسافة حرجة بين الأساسين المتداخلين  $S_{cr}$  بعدها يتناقص كل من قدرة التحمل والهبوط النهائيين مع الاستمرار في تناقص المسافة بينهما حتى يحصل تماس بين الأساسين، ووجدنا بأن تأثير التداخل يزداد ويصبح أوضح مع زيادة كل من زاوية الاحتكاك الداخلية وعمق منسوب التأسيس، كما لاحظنا بأن المسافة التي يصبح عندها تأثير التداخل مهماً  $S_{max}$  تزداد مع زيادة الكثافة النسبية وزاوية الاحتكاك الداخلية للتربة الرملية. وبمقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج الدراسات السابقة وجدنا أنها كانت على توافق جيد معها.

الكلمات المفتاحية: تداخل، أساس شريطي، قدرة تحمل، هبوط، طريقة العناصر المحدودة، PLAXIS2D.

\* مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .  
\*\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .  
\*\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

## Numerical study of the interference problem of two adjacent strip footings resting on sandy soil

Dr . Safwan Abdullah \*

Dr . Toufik Fayad\*\*

Amnah Slman\*\*\*

(Received 20 / 12 / 2018. Accepted 13 / 3 / 2019)

### □ ABSTRACT □

In this paper, the effect of the interference on bearing capacity and settlement of two adjacent strip footings resting on sandy soil is studied by using finite element method, (FEM program PLAXIS 2D). The study was conducted for three types of sandy soils (loose, medium density, dense), in our study we focused on the sandy soil medium density, Then a parametric study of some of the most important factors that affecting on the values of bearing capacity and settlement (the properties of sand  $D_r\%$ , foundation depth  $D_f$ ) is performed. We observed that both of the bearing capacity and settlement of interfering strip footings increase with a decrease in the spacing between footing  $S$ , until it reaches a maximum value corresponding to a certain critical spacing between the footings  $S_{cr}$ , then ultimate bearing capacity and settlement decrease with decrease in the spacing until the two adjacent footings contact. We also found that the effect of interference increases and becomes clearer with an increase in the relative density  $D_r\%$  and the internal friction angle  $\phi$ . We also noticed that the distance at which the interference effect becomes negligible  $S_{max}$  increases with the increase in relative density and internal friction angle. By comparing the results obtained from this study with the results of the previous studies, we found that they are in a good agreement with them.

**Key words:** Interference - Strip footing - Bearing capacity - Settlement- Finite element method FEM – PLAXIS 2D.

---

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

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

\*\*\* Postgraduate Student, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

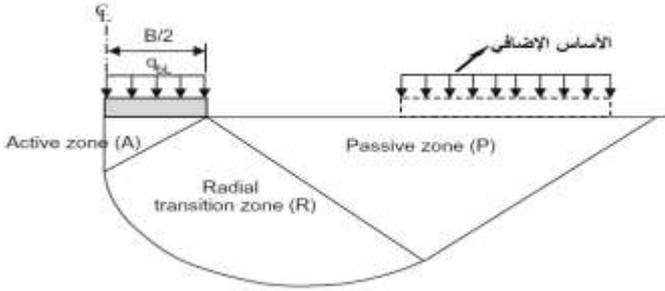
## مقدمة

إن تحديد قدرة التحمل للأساسات الشريطية هو أحد أكثر المسائل الهامة في الهندسة الجيوتكنيكية ، حيث هنالك العديد من الطرق التحليلية والعديدية بالإضافة إلى الطرق المخبرية والحقلية لحساب قدرة التحمل للأساس الشريطي بمفرده ونذكر من هذه الطرق : طريقة التوازن الحدية (Terzaghi, 1943) ، طريقة الخصائص The method of characteristics أو ما يعرف بطريقة (Hansen, 1970) – the slip-line طريقة التحليل الحدي والتي تتضمن طريقة الحد الأعلى والحد الأدنى upper bound and lower bound limit analysis (Soubra, 1999) – طريقة العناصر المحدودة FEM وطريقة الفروقات المحدودة (Griffiths, 1982) FDM، ولكن في أغلب الحالات لا يكون الأساس الشريطي بمفرده بل يكون مجاوراً لأنواع أخرى من الأساسات المستخدمة في البناء ومنها الأساس الشريطي وهذا غالباً ما ينتج بسبب اعتبارات انشائية أو بسبب ضيق الفسحة المخصصة للبناء ، في مثل هذه الحالات فإن خطوط الاجهاد لكل أساس من الأساسات المتجاورة حسب درجة قربها تتفاعل وتندمج مشكلة اجهادات متراكبة مؤثرة في منطقة أكبر من تربة التأسيس مما يغير سلوك الأساسات المتجاورة عن حالة الأساس بمفرده .

تمت دراسة تأثير ظاهرة التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين وعلى تربة رملية من قبل باحثين مختلفين حيث اختلفت طرائق دراساتهم وتنوعت بين الطرق التحليلية والعديدية والمخبرية ، كان (Stuart, 1962) أول من درس تأثير التداخل في قدرة التحمل النهائية لأساسين شريطيين متجاورين حيث استخدم طريقة التوازن الحدية ، بينما درس (Das and Larbi-Cherif, 1983) و (Kumar and Saran, 2003) و (Kumar and Bhoi, 2009) ظاهرة التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين مخبرياً عن طريق اجراء عدد من التجارب المخبرية المصغرة ، كما تم دراسة تأثير التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين عن طريق اجراء دراسات تحليلية حيث درس (Kumar and Ghosh, 2007a) قدرة التحمل النهائية لأساسين شريطيين متداخلين بطريقة upper bound limit analysis والتي تستند على آلية انهيار كتل متعددة ، كما درس الموضوع في بحث آخر (Kumar and Ghosh, 2007b) لكن بطريقة أخرى هي طريقة stress characteristics ، والتي اقترحا فيها آليتي انهيار مختلفتين ، ففي الآلية الأولى تم اختيار مناطق غير لدنة رباعية الشكل غير متناظرة تحت قاعدة كل أساس ، أما في الآلية الثانية تم اختيار مناطق غير لدنة مثلثية الشكل غير متناظرة تحت قاعدة كل أساس. وأيضاً تم التحقق من تأثير التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين عددياً حيث قام (Lee and Eun, 2009) بدراسة تأثير التداخل بين الأساسات الشريطية في قدرة التحمل وذلك باستخدام برنامج ABAQUS طريقة العناصر المحدودة FEM وتم بالاستناد الى النتائج حساب نسب قدرة التحمل وتصميم معادلة لحالة الأساسات المتداخلة، أما (Mabrouki et al., 2010) فقد أجرى سلسلة من التحليلات العدديية باستخدام طريقة الفروقات المحدودة برنامج FLAC لتقييم تأثير التفاعل بين أساسين شريطيين متجاورين في قدرة التحمل ، في حين درس (Nainegali and Basudhar, 2011) تأثير التداخل في هبوط أساسين متجاورين يستندان على تربة معامل مرونتها إما ثابت أو متغير خطياً مع العمق وذلك باستخدام طريقة العناصر المحدودة برنامج Matlab ، كما قام (Kumar and Kouzer, 2007) بدراسة تأثير التباعد بين أساسين شريطيين متداخلين في قدرة التحمل النهائية باستخدام طريقة upper bound limit analysis بالاشتراك مع العناصر المحدودة حيث اعتبرت الأساسات أنها تستند على سطح تربة رملية ، في حين استخدم (Kumar and Bhattacharya, 2013) طريقة lower bound limit analysis بالاشتراك مع طريقة العناصر المحدودة برنامج Matlab من أجل تحديد

قدرة التحمل النهائية لأساسين شريطيين متداخلين يستندان على تربة رملية والتي تعتبر أنها تتبع معيار الانهيار مور-كولومب.

### آليات الانهيار من أجل حالة الأساسات المتداخلة :



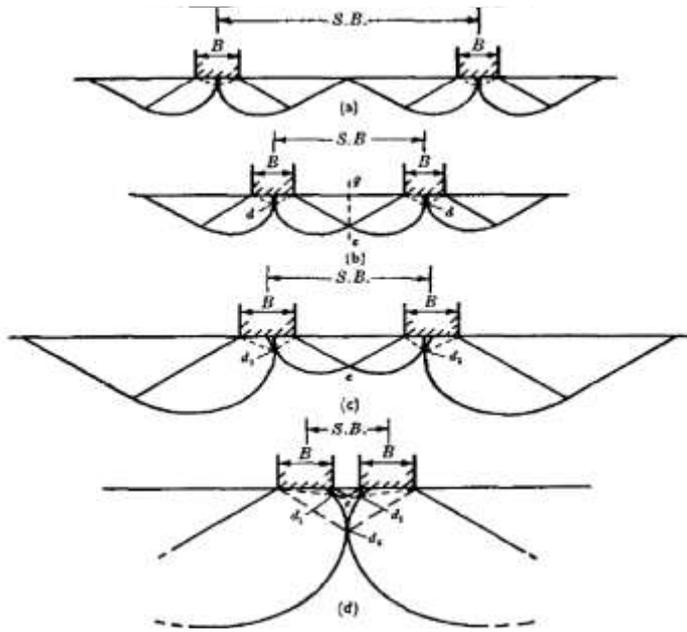
### آلية الانهيار لحالة الأساس بمفرده :

حسب آلية انهيار التوازن الحدي (Terzaghi, 1943) و (Meyerhof, 1965) افتراضاً أن مناطق انهيار التربة تحت الأساس تتضمن ثلاث مناطق المنطقة النشطة (الفعالة) Active zone ( المنطقة A ) ومنطقة الانتقال الشعاعي Radial transition zone ( المنطقة R ) والمنطقة السلبية ( المنطقة P ) Passive zone ( المنطقة P ) كما هو مبين في (الشكل 1) ،

الشكل (1) آلية الانهيار للأساس بمفرده. (Terzaghi, 1943) وتكون هذه الآلية غير صالحة في حال وجود أساس إضافي ضمن المنطقة P للأساس بمفرده مما يؤدي إلى إعادة توزيع الاجهادات وتغيير آلية الانهيار (الشكل 1).

### آلية الانهيار لحالة الأساسين المتداخلين حسب (Stuart, 1962) :

توجد ثلاث حالات نموذجية حسب بعد الأساسين عن بعضهما S وهي حالة أساس بمفرده، حالة التداخل ، حالة التماس. أولاً: عند مسافة كبيرة جداً كما يظهر في الشكل (2 a) لا يحدث تداخل والحمولة على زوج الأساسات هي ببساطة ضعف الحمولة على أساس بمفرده ، ومع تناقص المسافة بين الأساسين تظهر الحالة الموضحة في الشكل (2b) حيث المناطق السلبية تتداخل ، ولكون الاجهادات على المقطع الشاقولي  $q_e$  تبقى نفسها في حالة الأساس بمفرده لا يظهر تغير في الحمولة النهائية عند الانهيار ، على أية حال هذه الحالة ربما تغير الهبوط للمجموعة عند مقارنته مع هبوط أساس بمفرده .



الشكل (2) آلية الانهيار للأساسات المتداخلة. (Stuart, 1962) وهذا يحدث قبل تماس الأساسين ، عند

هذه المسافة يحدث Blocking و زوج الأساسات والترتبة بينهما تشكل جملة واحدة بعرض (2B+S) . ثالثاً: عندما يتماس الأساسين تعود إلى حالة أساس بمفرده لكن بضعف العرض .

### أهمية البحث وأهدافه :

يمكن أن نصادف ظاهرة التداخل بين الأساسات في العديد من الحالات مثل حالة الهياكل ذات الأساسات الكبيرة والتي توجد ضمن مساحة محددة كالمنشآت الصناعية والصالات التخزينية وكذلك المستودعات ، ففي مثل هذه الحالات يحدث التداخل بين الأساسات المتجاورة وبالتالي تتغير استجابة الحمولة - هبوط للأساسات المتداخلة بالمقارنة مع حالة أساس بمفرده وذلك بسبب تداخل مناطق الانهيار للأساسات المتجاورة ومن هنا تأتي أهمية دراسة التداخل بين الأساسات المتجاورة . ووجد عملياً أن الأساسات تتداخل بشكلٍ ما مع بعضها البعض ونادراً ما يكون الأساس بمعزل عن تأثير بقية الأساسات المتجاورة. كما أن هناك قلة في الدراسات البارامترية التي قد تساعد في إيضاح تأثير التداخل بين الأساسات المتجاورة في كل من قدرة التحمل والهبوط . يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تداخل أساسين شريطيين يستندان على تربة رملية في قدرة تحمل وهبوط كل منهما و تمت الدراسة من أجل ثلاثة أنواع من الترب الرملية ( مخلخلة ، متوسطة الكثافة ، كثيفة ) ، وتم التركيز في دراستنا على التربة الرملية متوسطة الكثافة ، و اجراء دراسة بارامترية لبعض أهم العوامل المؤثرة في قيم قدرة التحمل و الهبوط (زاوية الاحتكاك الداخلية  $\phi$  - عمق منسوب التأسيس Df ) ، وذلك بطريقة النمذجة العددية ثنائية البعد 2D برنامج plaxis v 8.2 .

### طرائق البحث ومواده :

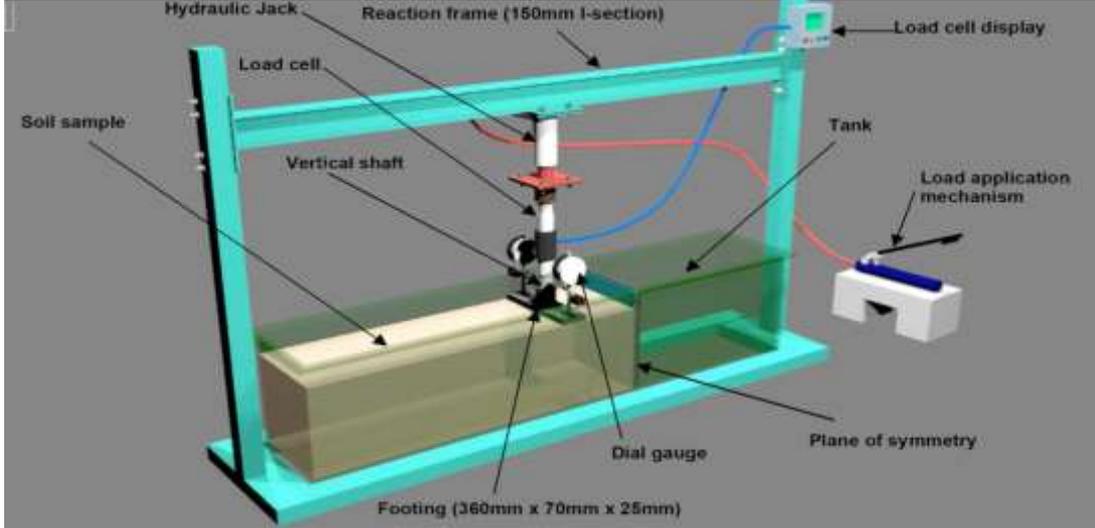
اعتمدنا في هذا البحث على المنهج التحليلي المقارن حيث تمت الدراسة وفق مايلي:

- 1- احضار الدراسة المرجعية المناسبة 2- المعايير وفيها تم بناء نموذج عددي مصغر لمحاكاة النموذج المخبري المقدم في الدراسة المرجعية وذلك باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM برنامج plaxis2D حيث تم اجراء التحليل العددي ومقارنة منحنى حمولة - هبوط للنموذج العددي المصغر مع منحنى حمولة - هبوط للتجربة المخبرية 3- الانتقال إلى بناء النموذج العددي بالأبعاد الحقيقية تمت الدراسة من أجل ثلاثة أنواع من الترب الرملية ( مخلخلة ، متوسطة الكثافة ، كثيفة ) ، وتم التركيز في دراستنا على التربة الرملية متوسطة الكثافة ، و إجراء دراسة بارامترية لبعض أهم العوامل المؤثرة في قيم قدرة التحمل والهبوط لأساسين شريطيين متداخلين يستندان على تربة رملية 4- وأخيراً قمنا بتحليل النتائج التي توصلنا إليها في المرحلة السابقة ومقارنتها مع الأبحاث السابقة .

### النتائج والمناقشة :

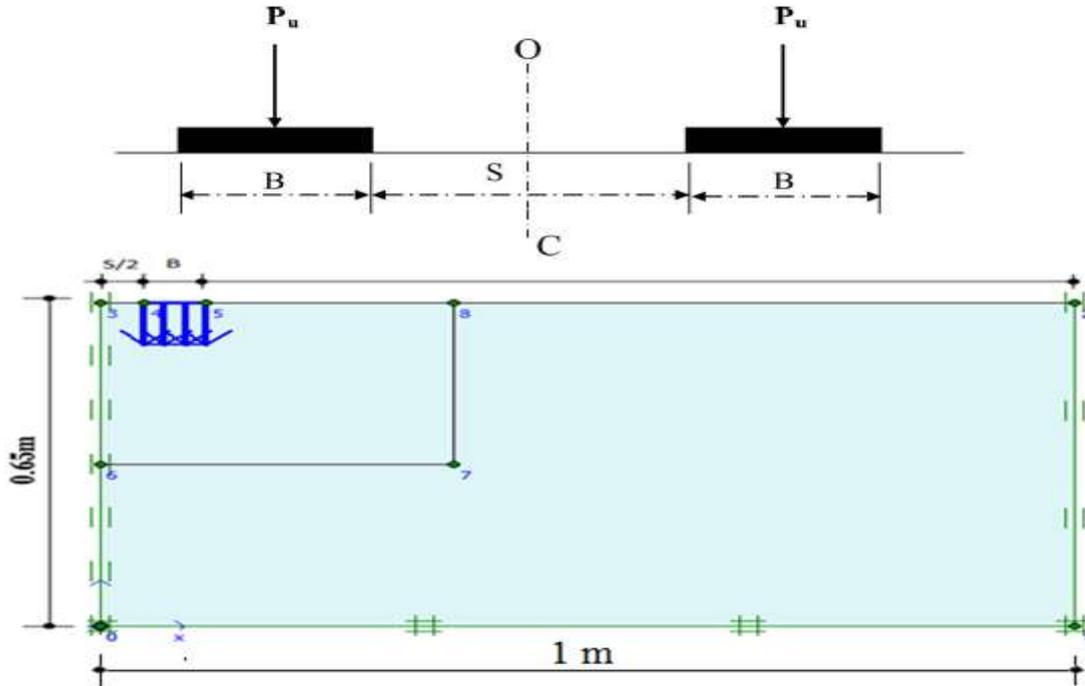
#### 1- معايير النموذج العددي المقترح

تم بناء نموذج عددي محاكي للنموذج المخبري المقدم من قبل (Kumar and Bhoi, 2009) ، لحالة  $S/B=1.43$  ، حيث كانت أبعاد أساس النموذج المخبري (36-7-2.5)cm وخواص التربة الرملية ( $\gamma = 16.2 \text{ KN/m}^3$  ،  $\phi = 37.4^\circ$  ،  $Dr = 67\%$ ) ، مع مراعاة أن الأساسين متماثلين في الشكل والحمولة وأنه تم تحميلهما معاً في اللحظة نفسها.



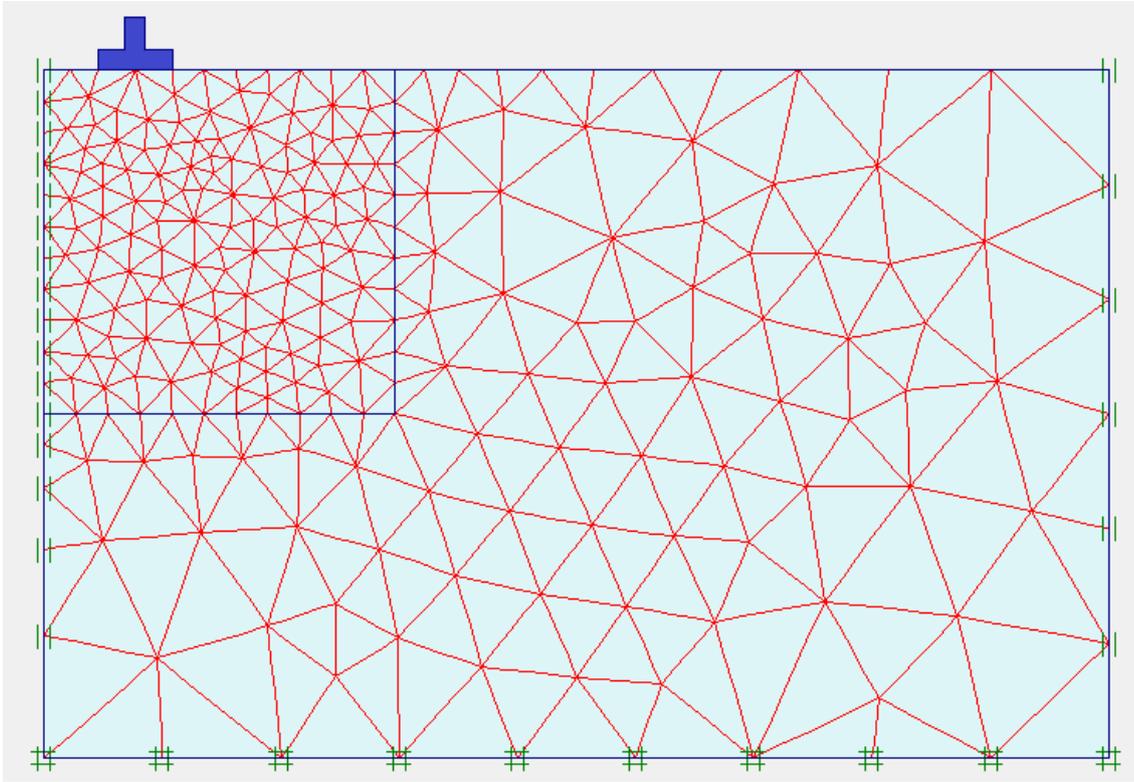
الشكل (3) النموذج المخبري (Kumar and Bhoi, 2009).

تم اعتماد حالة التشوه المستوي Plane Strain لهذه المسألة واتباع طريقة الإزاحة والتي يتم فيها نمذجة الأساس الشريطي بصفته عنصراً صلباً مكافئاً لهبوط منتظم مفروض، والتربة تتبع في سلوكها قانون مور- كولومب ، وللاستفادة من خاصية التناظر لهذه المسألة اكتفينا بنصف النموذج . والشروط الطرفية كانت ممنوعة من الحركة في الاتجاهين  $x$  و  $y$  عند القاعدة بينما تكون ممنوعة من الحركة الأفقية في اتجاه  $x$  عند الجوانب كما هو موضح بالشكل (4) .



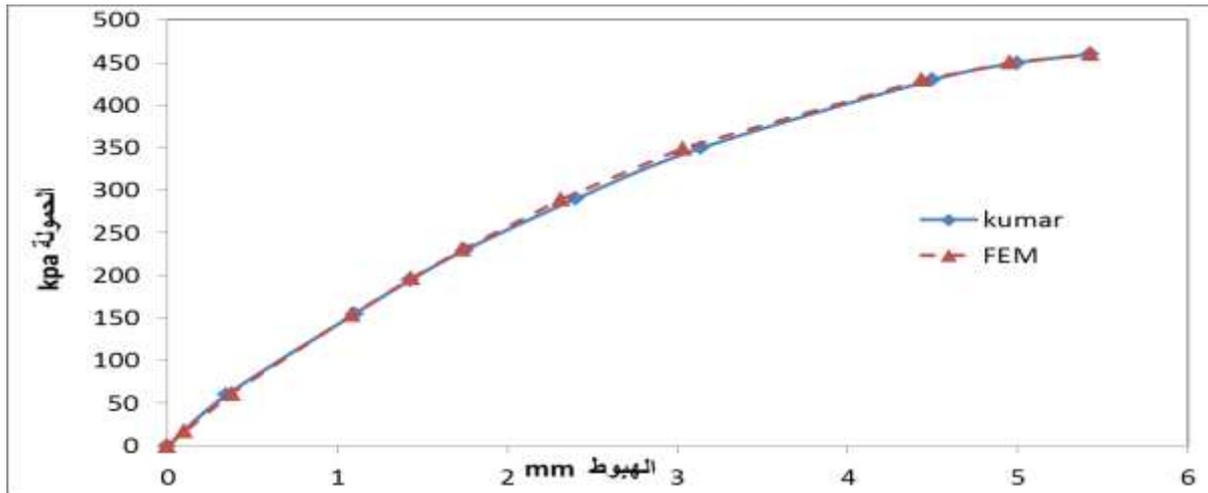
الشكل (4) النموذج العددي المستخدم .

استخدمت شبكة عناصر محدودة FE-Mesh الموضحة في الشكل (5) والمكونة من عناصر مثلثية ب 15 عقدة للعنصر الواحد .



الشكل (5) شبكة التقسيم المستخدمة .

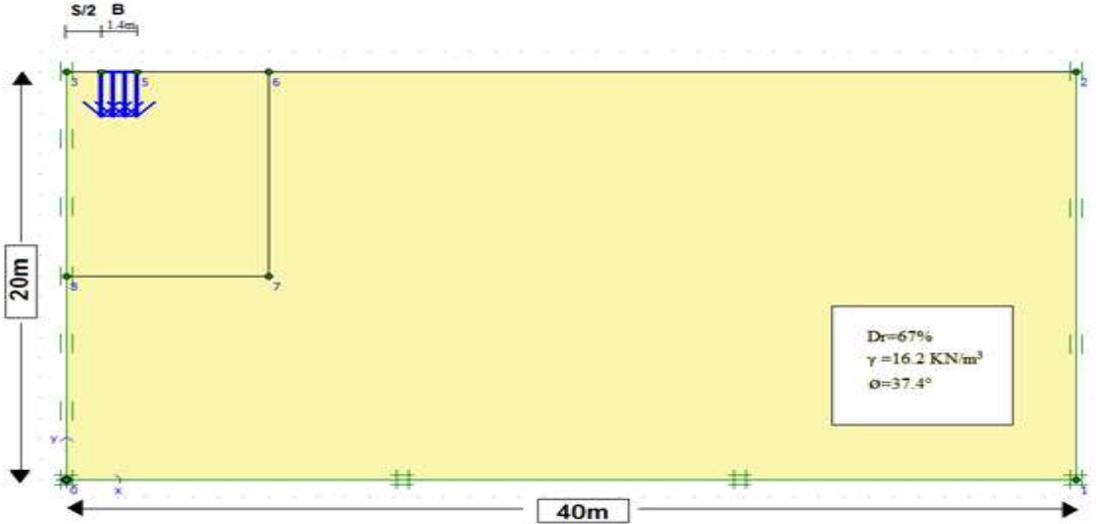
تمت مقارنة منحنيات الحمولة-هبوط للنموذج المخبري مع منحنيات الحمولة-هبوط التي حصلنا عليها من النموذج العددي و نلاحظ تقارب المنحنين مما يدل على صحة النموذج العددي المقترح وصلاحيته لإجراء التحليل العددي للمسألة المدروسة ، النتائج موضحة في الشكل (6).



الشكل (6) مقارنة منحنى حمولة - هبوط بين الدراسة العددية والدراسة المخبرية.

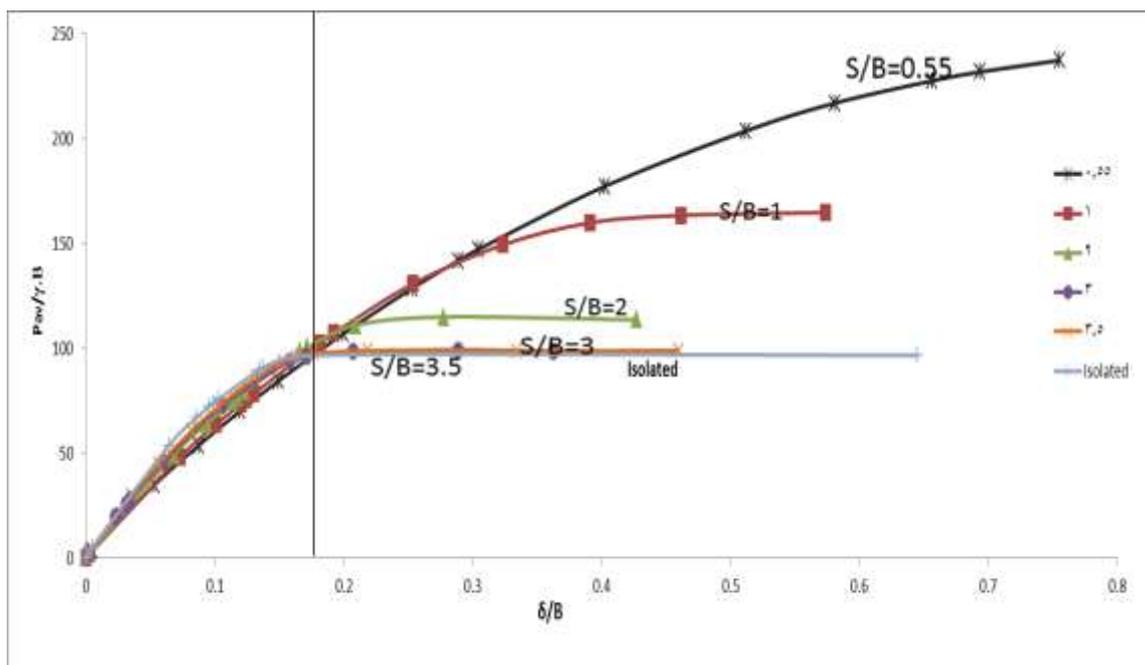
## 2- الدراسة العددية (البارامتريّة) :

بعد التحقق من النموذج العددي المقترح ومعايرته قمنا ببناء نموذج عددي بالأبعاد الحقيقية، حيث تم اختيار أبعاد النموذج بحيث تكون كافية لإلغاء أية تشوهات تؤثر على صحة المسألة (الشكل 7) ، من أجل دراسة تأثير التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين يستندان على تربة رملية في كل من قدرة تحملها وهبوطها ، تمت الدراسة من أجل ثلاثة أنواع من التربة الرملية ( مخلخلة ، متوسطة الكثافة ، كثيفة ) ، وتم التركيز في دراستنا على التربة الرملية متوسطة الكثافة ، وأجرينا دراسة بارامتريّة لبعض أهم العوامل المؤثرة في قيم قدرة التحمل و الهبوط (زاوية الاحتكاك الداخلية  $\phi$  - عمق منسوب التأسيس  $D_f$ ).



الشكل (7) النموذج العددي بالأبعاد الحقيقية .

تم دراسة تأثير التداخل بين الأساسين المتجاورين بتغيير البعد بين طرفيهما  $S$  وتم التعبير عن ذلك بالنسبة  $S/B$  والتي تدعى نسبة التداخل . حيث  $B$  هو عرض الأساس الشريطي والذي يساوي  $1.4\text{ m}$  وكانت التربة الرملية متوسطة الكثافة خواصها ( $\phi=37.4^\circ$  ,  $\gamma=16.2\text{ Kn/m}^3$  ,  $Dr=67\%$ ) ومنحني حمولة - هبوط الذي حصلنا عليه من هذه الدراسة العددية موضح في الشكل (8).



الشكل (8) منحنى حمولة - هبوط لحالتي أساس متداخل وأساس بمفرده .

نلاحظ من الشكل (8) وجود ميلين (نزعتين) بالنسبة للهبوط  $\delta$ :

- 1 - ضمن مجال هبوط محدد (حوالي  $\delta \approx 0.18B$ ) حيث يكون هبوط الأساس المتداخل (بكافة نسب التداخل المدروسة) أكبر من هبوط الأساس بمفرده.
- 2 - خارج هذا المجال يكون هبوط أساس بمفرده أكبر من هبوط الأساس المتداخل، وهذا يتطابق مع النتائج المقدمة من قبل (Lee and Eun, 2009).

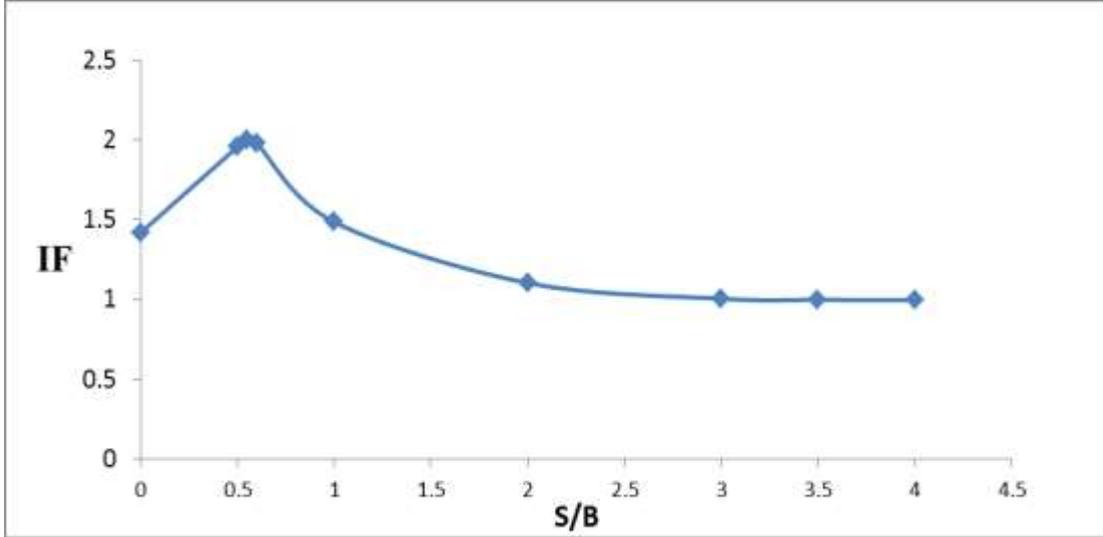
تفسر النتائج في المجال الأول ( $\delta \leq 0.18 B$ ) بسبب توسع وتضخم منطقة تأثير الاجهاد الناتجة عن زيادة مساحة التحميل و هذا يعكس حقيقة أن الأساس ذو العرض الأكبر (جملة الأساسين المتداخلين والترية بينهما) يسبب هبوطاً أكبر من الأساس بمفرده .

أما ضمن المجال الثاني ( $\delta > 0.18 B$ ) فمع زيادة التحميل يستمر الهبوط الناتج بالزيادة حتى تصل التربة تحت الأساس بمفرده الى الانهيار أو حالة التلدن أسرع من التربة تحت الأساس المتداخل مما يعطي القيم المرتفعة للهبوط.

### تأثير التداخل بين الأساسين المتجاورين في قدرة التحمل النهائية :

تم حساب قدرة التحمل النهائية من منحنيات الحمولة - هبوط بالمقياس اللوغاريتمي عن طريق استخدام طريقة تقاطع المماسات ، ثم قمنا بحساب عامل فاعلية التداخل (Interference Factor) IF والذي يعرف بأنه نسبة قدرة التحمل النهائية لأساس متداخل إلى قدرة التحمل لأساس بمفرده له نفس العرض ويعطى بالعلاقة التالية:  $IF = \frac{qu(int)}{qu(iso)}$

ثم تم رسم منحنى لا بعدي بين IF والنسبة S/B والتي تمثل نسبة المسافة بين طرفي الأساسين المتجاورين إلى عرضهما الشكل (9) .



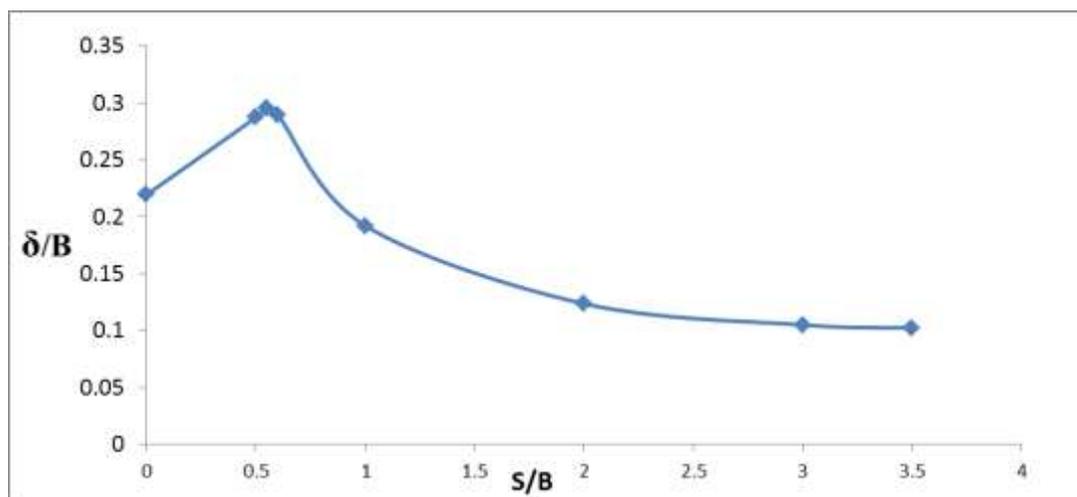
الشكل (9) منحنى تغير IF مع التداخل

نلاحظ من الشكل (9) أن قيم عامل فاعلية التداخل IF تزداد مع تناقص  $S/B$  حتى يصل إلى قيمة أعظمية توافق مسافة حرجة  $S/B = S_{cr}/B$  والتي تكون قيمتها في هذه الحالة 0.55 وهنا يبدأ تأثير Blocking حيث تتناقص قيم IF مع تناقص المسافة بين الأساسين المتجاورين ويمكن أن يفسر ذلك حسب (Stuart,1962) بأنه عندما يقترب أساسين شريطيين من بعضهما فإن التربة بينهما تحجز وبالتالي فإن اجهاد التربة يتزايد في هذه المنطقة مع الزيادة في الحمولة المطبقة عليهما ، ولكون الاجهاد لا يستطيع التدفق حول الأساسات الشريطية فتتشكل كتلة صلبة بين الأساسين المتداخلين وتعتبر مع الأساسين جملة واحدة عرضها  $S+2B$  ، و عند تماس الأساسين المتجاورين أي  $S/B = 0$  يتم اعتبار الأساسين كأنهما أساس واحد لكن بعرض  $2B$ .

من الشكل (9) نجد أن عامل فاعلية التداخل IF يأخذ القيمة 1 عند مسافة تساوي في هذه الحالة  $S/B=3.5$  مما يدل على أن تأثير التداخل قد أهمل وتسمى هذه المسافة بالمسافة الأعظمية  $S_{max}/B$ .

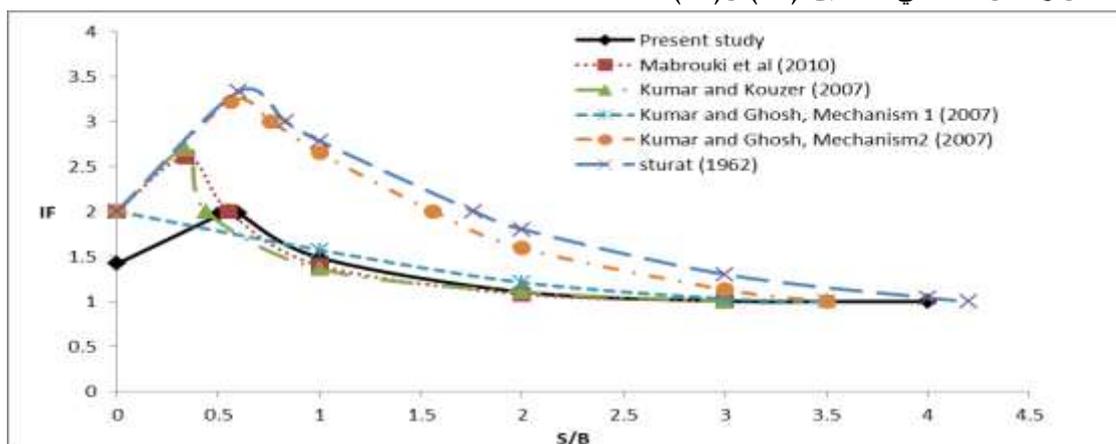
### تأثير التداخل بين الأساسين المتجاورين في الهبوط النهائي :

تم دراسة تأثير التداخل بين أساسين شريطيين متجاورين يستندان على تربة رملية في قيم الهبوط النهائي المقابل لقدرة التحمل النهائية حيث تم رسم منحنى بياني لا بعدي بين الهبوط النهائي والمسافة بين الأساسين المتجاورين حيث تم نسب الهبوط للأساس المتداخل إلى عرضه أي النسبة  $\delta/B$  ونسب المسافة بين الأساسين إلى عرض الأساس أيضاً أي  $S/B$  والتي تدعى نسبة التداخل ويظهر المنحنى اللابعدي في الشكل (10).



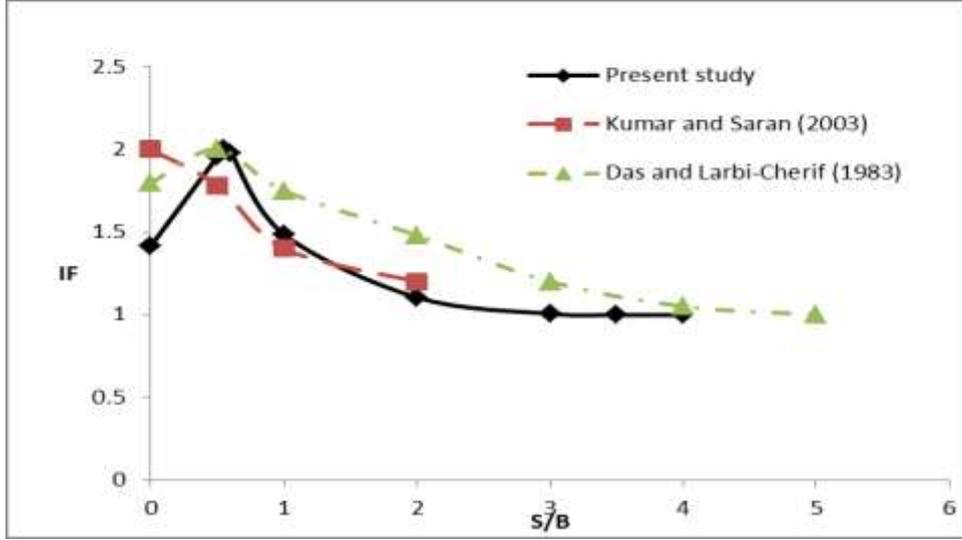
الشكل (10) منحني الهبوط النهائي مع التداخل

نلاحظ بأنه كلما قلت المسافة بين الأساسين المتجاورين كلما زادت النسبة  $\delta/B$  حتى تصل إلى قيمة أعظمية والتي تقابل مسافة حرجة  $S_{cr}/B$  وبعدها تستمر النسبة  $\delta/B$  بالتناقص حتى يتماس الأساسين عند  $S/B=0$ . ثم قمنا بمقارنة قيم عامل فاعلية التداخل IF المحسوب من دراستنا الحالية مع عدد من الدراسات النظرية والمخبرية المتوفرة الموضحة في الشكلين (11) و(12).



الشكل (11) مقارنة قيم عامل فاعلية التداخل IF مع الدراسات النظرية السابقة .

المقارنة في الشكل (11) تظهر بأن قيم IF المقدمة من قبل (Stuart, 1962) و (Kumar and Ghosh, 2007b) آلية الانهيار 2 أكبر بشكل ملحوظ من بقية المنحنيات وهذا ربما يعزى إلى الطبيعة المبسطة لآلية الانهيار المفترضة في دراستهما ، كما نجد أن قيم IF المحسوبة من دراستنا قريبة بشكل جيد من القيم المقدمة من قبل (Mabrouki et al., 2010) و (Kumar and Kouzer, 2007) و (Kumar and Ghosh, 2007b) آلية الانهيار 1 وذلك من أجل قيم  $S/B > S_{cr}/B$  أما من أجل قيم  $S/B < S_{cr}/B$  نجد أن قيم IF المحسوبة من دراستنا هي الأخفض .



الشكل (12) مقارنة قيم عامل فاعلية التداخل IF مع الدراسات المخبرية المتوفرة .

ومن خلال مقارنة نتائج الدراسات المخبرية المتوفرة الموضحة في الشكل (12) نجد أن القيمة الأعظمية لـ IF المحسوبة من دراستنا الحالية قريبة من قيمة IF الأعظمية المقدمة من قبل (Das and Larbi-Cherif, 1983) ، بينما نجد أن بقية القيم المحسوبة من دراستنا الحالية قريبة إلى حد ما من القيم المقدمة من قبل (Kumar and Saran, 2003) .

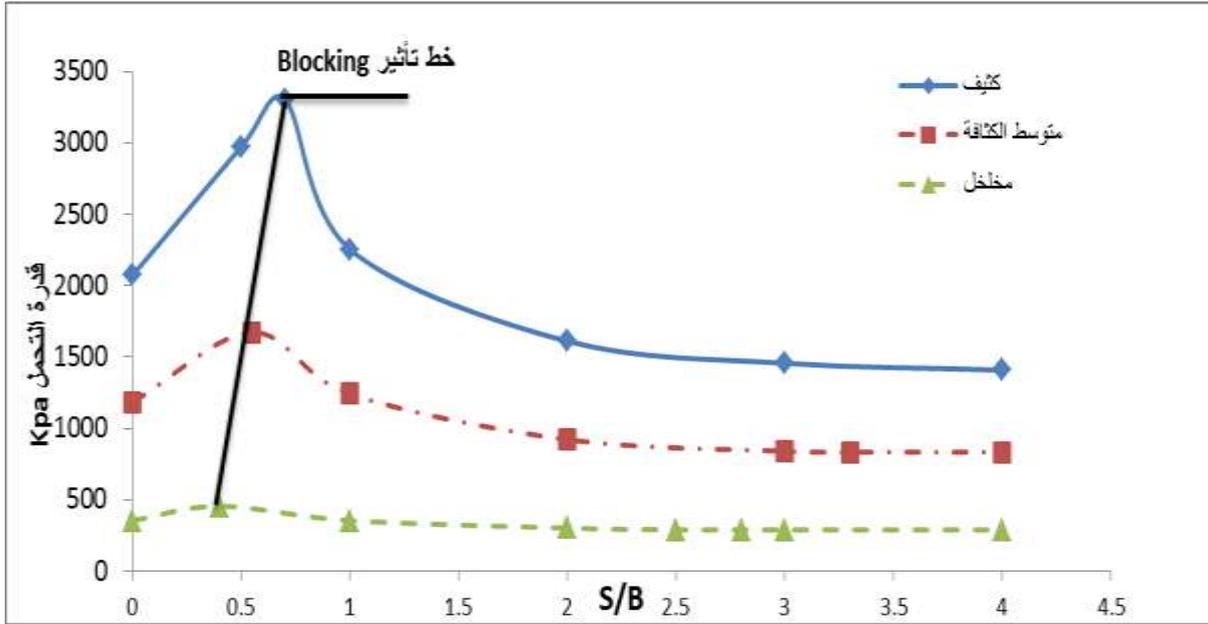
### دراسة تأثير التداخل من أجل ثلاث أنواع من الترب الرملية:

قمنا بدراسة تأثير التداخل على أنواع أخرى من الترب الرملية المختلفة في كثافتها والتي أخذت خواصها من الدراسة المرجعية (Kumar and Bhoi, 2009) الجدول (1) .

جدول (1) خواص الترب الرملية (Kumar and Bhoi, 2009).

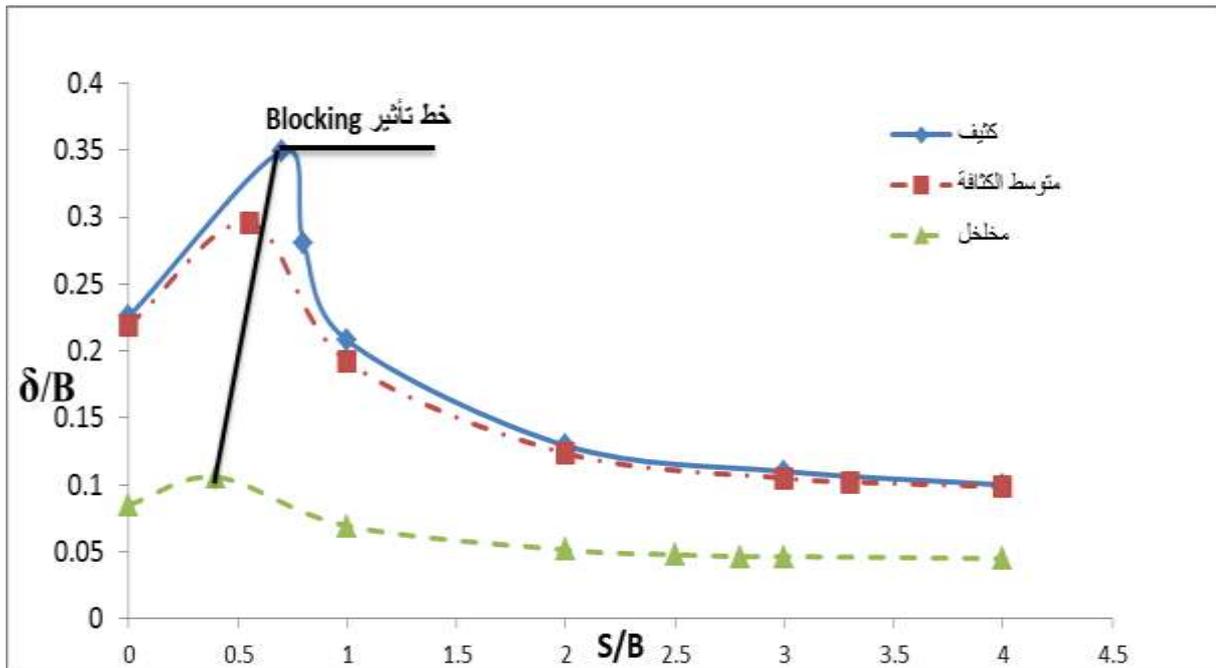
$\gamma$ (Kn/m <sup>3</sup> )	$\phi$	E (Kpa)	Dr	خواص الترب الرملية
15	30°	20000	35%	المخلخلة
16.2	37.4°	28000	67%	المتوسطة الكثافة
18	40°	40000	90%	الكثيفة

بعد اجراء الدراسة العددية قمنا برسم العلاقة بين قدرة التحمل النهائية مع نسبة التداخل S/B الشكل (13) وكذلك رسم العلاقة بين النسبة  $\delta/B$  و S/B الشكل (14) وذلك لأنواع الرمل الثلاثة المختلفة في كثافتها.



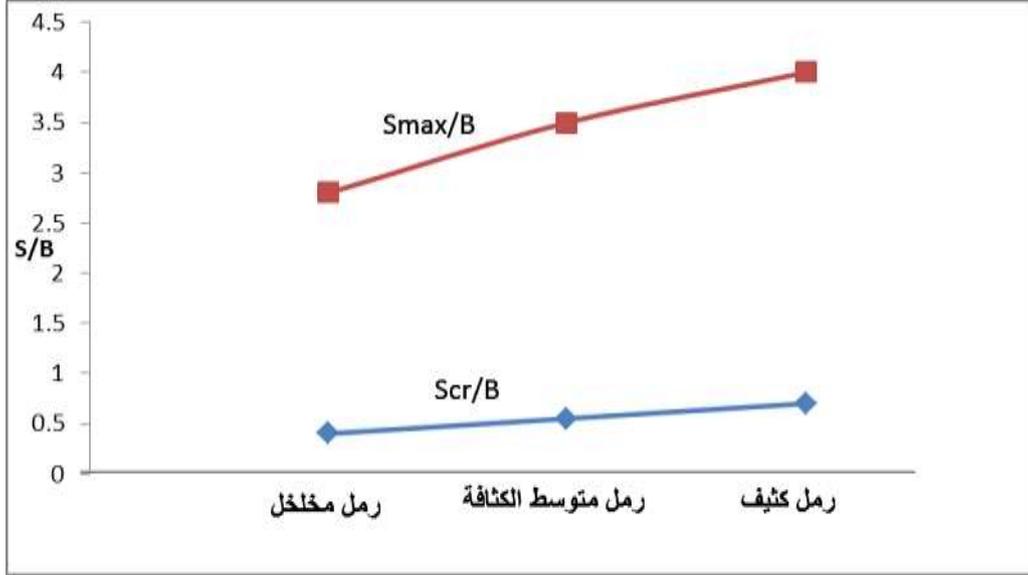
الشكل (13) منحنى تغير قدرة التحمل النهائية مع التداخل لثلاثة أنواع من التربة الرملية .

نجد من الشكل (13) بأنه تزداد قدرة التحمل النهائية مع زيادة كثافة التربة الرملية وذلك بسبب تحسن خواص التربة وزيادة الاحتكاك بين حبيبات التربة .



الشكل (14) منحنى تغير  $\delta/B$  مع التداخل لثلاثة أنواع من التربة الرملية

كما نرى من الشكل (14) بأن الهبوط النهائي المقابل لقدرة التحمل النهائية يزداد مع زيادة كثافة التربة الرملية.



الشكل (15) منحنى تغير  $S_{cr}/B$  و  $S_{max}/B$  مع اختلاف الكثافة النسبية للتربة الرملية .

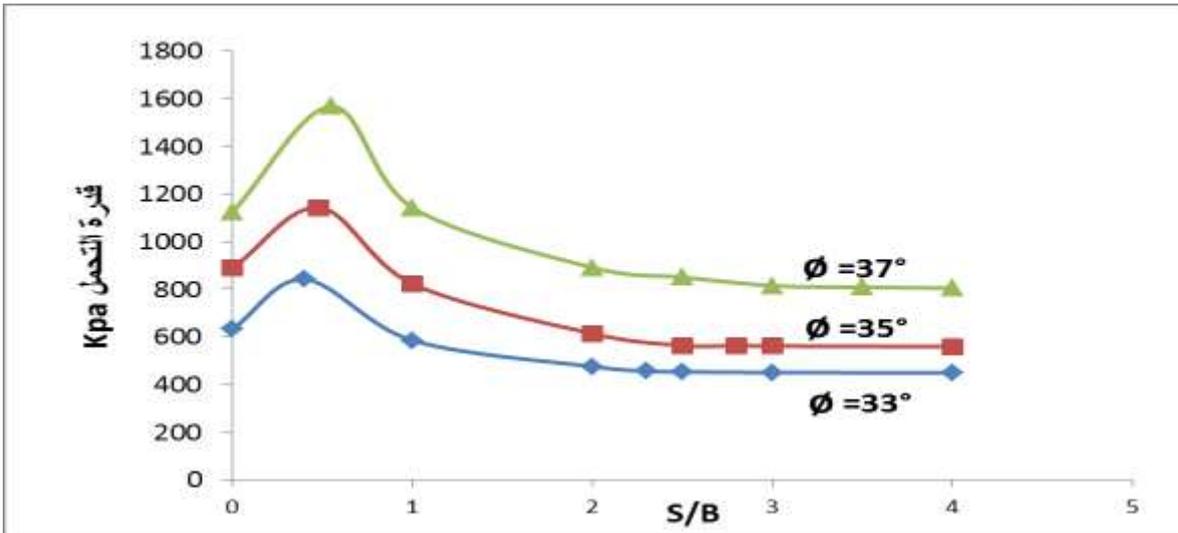
تم تمثيل العلاقة بين كثافة التربة الرملية و  $S/B$  في الشكل (15) والذي يظهر أن كل من  $S_{cr}/B$  و  $S_{max}/B$  تزداد مع زيادة الكثافة النسبية للتربة الرملية .

بعد دراسة تأثير التداخل من أجل ثلاثة أنواع من الترب الرملية قمنا بالتركيز على حالة التربة الرملية متوسطة الكثافة وأجراء دراسة بارامترية لبعض أهم العوامل المؤثرة في قيم قدرة التحمل و الهبوط (زاوية الاحتكاك الداخلية  $\phi$  - عمق منسوب التأسيس  $D_f$ ).

#### دراسة تأثير زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة $\phi$ في قدرة تحمل وهبوط الأساس المتداخل :

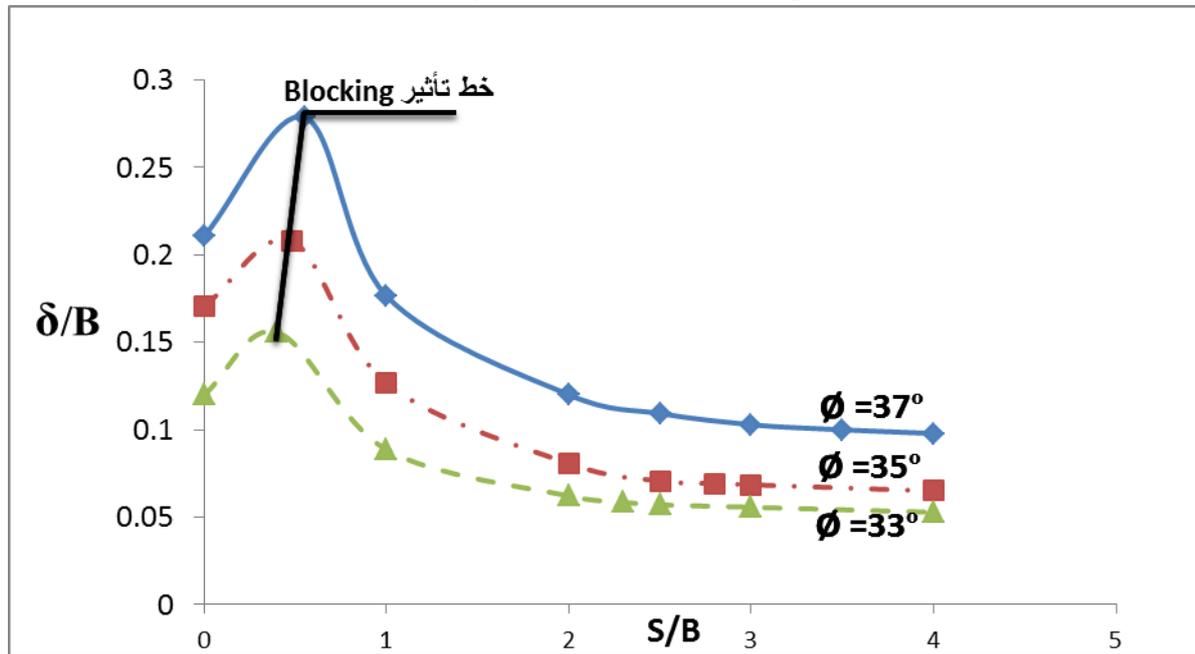
تمت الدراسة من أجل قيم مختلفة لزاوية الاحتكاك الداخلية  $\phi$  للتربة الرملية متوسطة الكثافة ( $33^\circ - 35^\circ - 37^\circ$ )

ثم قمنا برسم منحنى بياني بين قدرة التحمل النهائية و  $S/B$  من أجل هذه الزوايا.



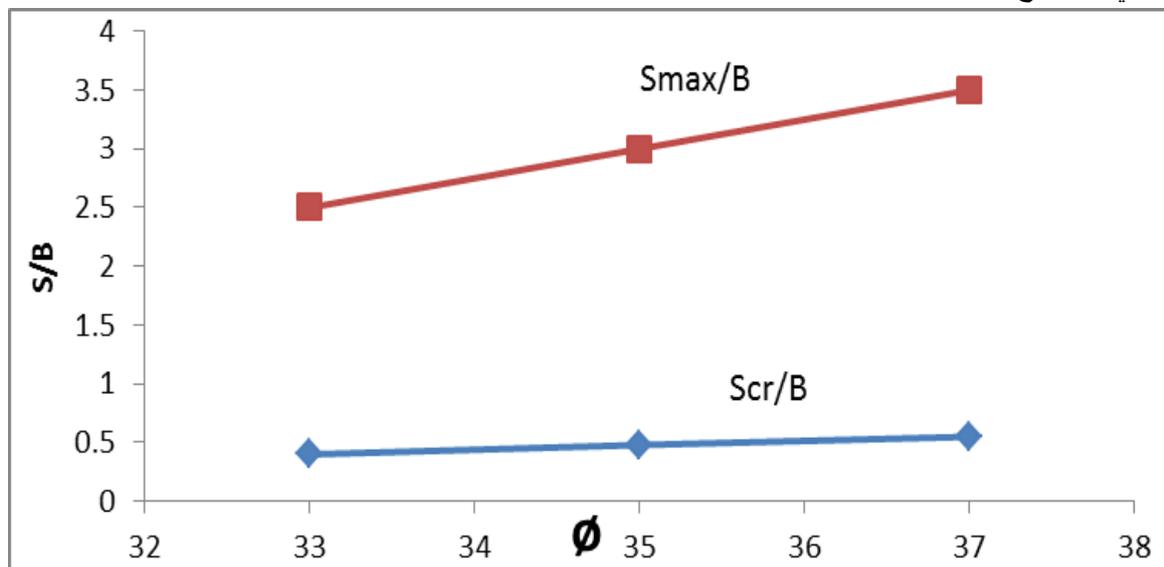
الشكل (16) منحنى تغير قدرة التحمل النهائية مع التداخل من أجل زوايا احتكاك مختلفة.

نلاحظ من الشكل (16) أنه مع زيادة زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة الرملية تزداد قدرة التحمل النهائية للتربة حيث تتحسن خواص التربة الرملية وتصبح مقاومتها أفضل وهذا ينسجم مع معادلة ترزاكي .



الشكل (17) منحنى تغير الهبوط النهائي مع التداخل من أجل زوايا احتكاك مختلفة.

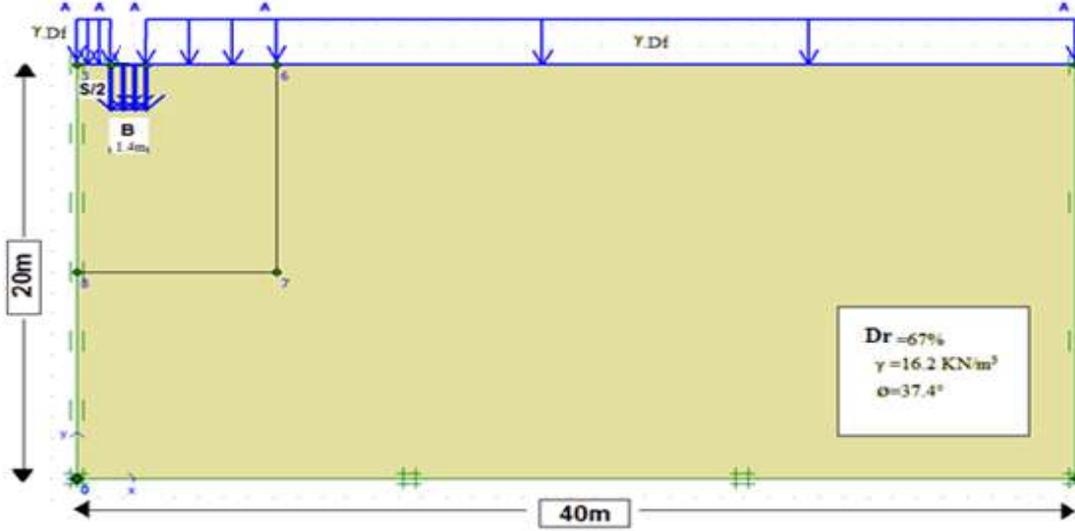
كما تم رسم منحنى بياني بين الهبوط النهائي و  $S/B$  لهذه الزوايا الشكل (17) والذي نجد منه أن الهبوط النهائي يزداد مع زيادة زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة الرملية.



الشكل (18) منحنى تغير  $S_{cr}/B$  و  $S_{max}/B$  مع تغير زاوية الاحتكاك الداخلية  $\phi$  .

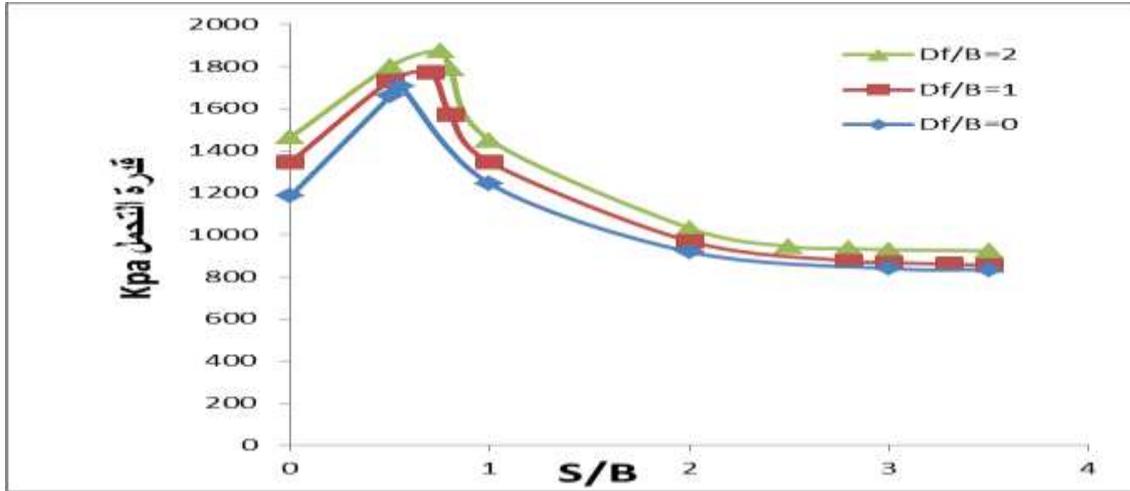
تم تمثيل العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلية و  $S_{cr}/B$  و  $S_{max}/B$  في الشكل (18) نجد من هذا الشكل أن كل من  $S_{cr}/B$  و  $S_{max}/B$  تزداد مع زيادة زاوية الاحتكاك الداخلية  $\phi$  للتربة الرملية .

دراسة تأثير عمق منسوب التأسيس  $D_f$  للأساسين المتجاورين في قدرة تحمل وهبوط الأساس المتداخل: تمت الدراسة من أجل ثلاث حالات لقيم عمق منسوب التأسيس  $D_f$  (  $2B$  ،  $B$  ،  $0$  ) ، حيث تم التعبير عن ضغط التربة فوق منسوب التأسيس بحمولة موزعة بانتظام والتي تساوي  $\gamma \cdot D_f$  الموضحة في الشكل (19) .



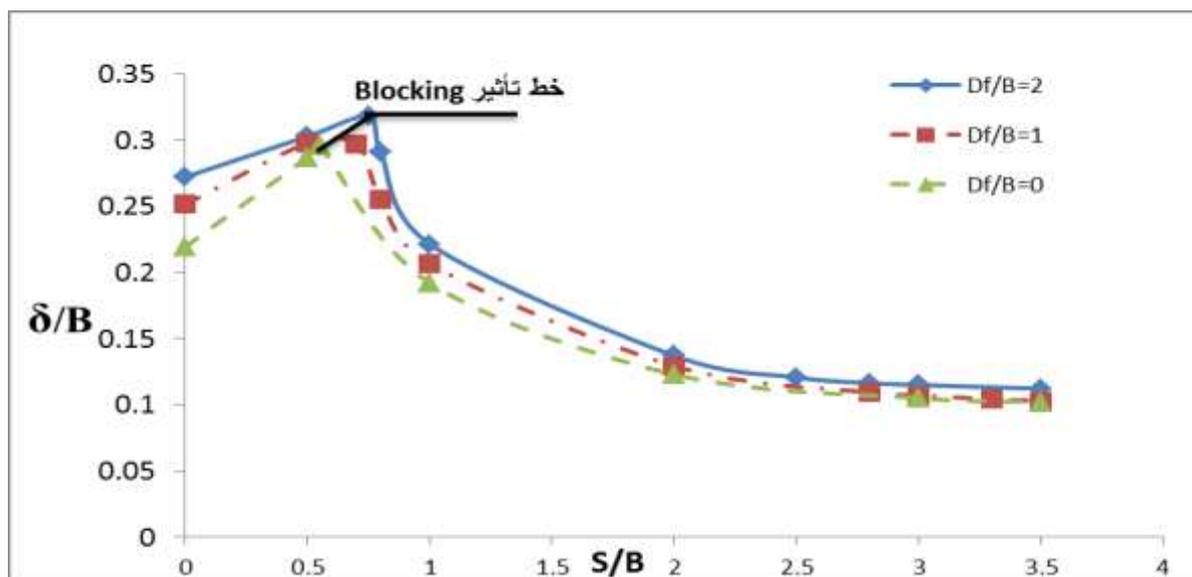
الشكل (19) النموذج العددي المستخدم

قمنا بالاعتماد على النتائج برسم منحنى بياني بين قدرة التحمل النهائية و  $S/B$  من أجل هذه النسب المختلفة لعمق منسوب التأسيس الشكل (20).



الشكل (20) منحنى تغير قدرة التحمل النهائية مع التداخل من أجل قيم مختلفة لـ  $D_f$ .

من الشكل (20) نلاحظ بأنه مع زيادة عمق التأسيس تزداد قدرة التحمل النهائية للتربة حيث تزداد متانة التربة مع زيادة عمق التأسيس وبالتالي تزداد قدرة التحمل. وقمنا أيضاً برسم منحنى بياني بين الهبوط النهائي المعبر عنه بالنسبة  $\delta/B$  و  $S/B$  من أجل النسب المختلفة لـ  $D_f$  الموضح في الشكل (21) ، والذي يبين أن الهبوط النهائي يزداد مع زيادة عمق منسوب التأسيس .



الشكل (21) منحنى تغير  $\delta/B$  مع التداخل من أجل قيم مختلفة لـ  $Df$ .

## الاستنتاجات والتوصيات

### الاستنتاجات :

يمكن تلخيص أهم النتائج التي تم التوصل لها من خلال هذه الدراسة بما يلي :

- 1- التداخل بين الأساسين الشريطيين المتجاورين يسبب زيادة في كل من قدرة التحمل النهائية والهبوط النهائي للأساس المتداخل.
- 2- تأثير التداخل المتمثل بزيادة قدرة التحمل النهائية والهبوط النهائي للأساس المتداخل يصبح أكبر وأكثر وضوحاً مع زيادة زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة الرملية وأيضاً مع زيادة عمق منسوب التأسيس .
- 3- تصبح قيمة قدرة التحمل النهائية أعظمية عند مسافة حرجة بين طرفي الأساسين  $S_{cr}/B$  والتي تكون حسب نوع التربة الرملية (0.3-0.55-0.7) للرمال المخلخل -متوسط الكثافة-الكثيف على التوالي .
- 4- يحدث Blocking عند  $0 < S/B < S_{cr}/B$  والذي يسبب زيادة في قدرة التحمل مع زيادة المسافة ضمن هذا المجال .

5- تأثير التداخل يتوقف عند  $S/B \geq S_{max}/B$  حيث يتصرف كل أساس بمعزل عن الآخر.

6- يزداد كل من  $S_{max}/B$  و  $S_{cr}/B$  مع زيادة كثافة التربة الرملية و زاوية احتكاكها .

7- عامل فاعلية التداخل IF يزداد مع زيادة المسافة ضمن المجال  $0 < S/B < S_{cr}/B$  ليصل إلى قيمة أعظمية

ثم يتناقص خارج هذا المجال حتى يصل إلى قيمة 1 عند المسافة الأعظمية التي يتوقف عندها تأثير التداخل .

### التوصيات :

- 1- التوسع في هذا البحث ليشمل دراسة حالة أساسين متداخلين غير متماثلين في الحمولة أو في الشكل.
- 2- الحاجة إلى تحقيقات أكثر من أجل حالة تداخل ثلاثة أساسات أو أكثر .
- 3- الحاجة إلى تحقيقات أكثر حول تأثير التداخل بين الأساسات المتجاورة من أجل أنواع مختلفة من التربة ومن أجل أشكال أخرى من الأساسات .

## المراجع :

1. DAS, B. M. ; LARBI-CHERIF ,S. *Bearing capacity of two closely-spaced shallow foundations on sand. Soils and Foundations Japanese*, Vol. 23, No. 1, Mar.1983,1–7.
2. GRIFFITHS D.V. *Computation of bearing capacity factors using finite elements*. Geotechnique, Vol. 32, No.3 , 1982,195-202.
3. HANSEN J.B. *A revised and extended formula for bearing capacity*. Danish Geotech Inst Bull No. 28,1970, 5-11.
4. KUMAR , J. ; BHOI, M. K. *Interference of Two Closely Spaced Strip Footings on Sand Using Model Tests*. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Journal, Vol. 135, No. 4, April 1, 2009, 595-604.
5. KUMAR , J. ; GHOSH, P. *Ultimate bearing capacity of two interfering rough strip footings*. International Journal of Geomechanics (ASCE) , Vol. 7, No. 1 February 1, 2007a ,53–62.
6. KUMAR , J. ; GHOSH, P. *Upper bound limit analysis for finding interference effect of two nearby strip footings on sand*. Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 25, No. 5, 2007b, 499–507 .
7. KUMAR, J. ; KOUZER, K.M . *Bearing capacity of two interfering footings*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics , Vol. 32, No. 3, 2008, 251-264.
8. KUMAR, J.; BHATTACHARYA, P.: *Bearing capacity of two interfering strip footings from lower bound finite elements limit analysis*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics ,. 37,5,2013 , 441-452.
9. KUMAR, A. ; SARAN, S. *Closely Spaced Footings on Geogrid-Reinforced Sand* .J Geotech Geoenviron Eng ASCE Vol. 129, No. 7, JULY.2003, 660-664.
10. LEE, J. ; EUN, J. *Estimation of bearing capacity for multiple footings in sand*. Computer and Geotechnics Journal , Vol. 36 , 2009, 1000-1008 .
11. MABROUKI , A. ; BENMEDDOUR, D. ; FRANK, R.; MELLAS, M. *Numerical study of the bearing capacity for two interfering strip footings on sands*. Computers and Geotechnics Vol. 37, 2010, 431–439.
12. MEYERHOF G. *Shallow foundations*. JSoil Mech Found Div, ASCE ,vol. 91, No. (SM2), 1965, 21–31.
13. NAINEGALI , L.S. ; BASUDHAR , P.K. *Interference of Two Closely Spaced Footings: A Finite Element Modeling*. Geo-Frontiers ASCE 2011,3726 –3735.
14. SOUBRA A-H. *Upper-bound solutions for bearing capacity of foundations*. J Geotech Geoenviron Eng ASCE, Vol. 125, No. 1, 1999,59-68.
15. STUART, J. G. *Interference between foundations, with special reference to surface footings in sand*. Geotechnique, Vol. 12, No. 1, 1962, 15-22.
16. TERZAGHI, K. *Theoretical soil mechanics*. 1<sup>st</sup>.ed., John Wiley & Sons, Inc New York & London, 1943,526.