

Study the Influence of the Depth of the Metal Skirt under Strip Foundation Resting on Sand on Bearing Capacity and Settlement

Dr. Safwan Abdullah*
Boushra Bassam Nasser**

(Received 2 / 5 / 2023. Accepted 8 / 6 / 2023)

□ ABSTRACT □

The sandy weak bearing capacity soils, which have large settlements, are considerate of the most geotechnical common problems. In order to improve the bearing capacity of the soil and reduce the settlement of the foundation based on this type of soil. In the last year, soils improvement methods have been many such as, replace the thickness of certain soil by other good bearing capacity soil, add items to improve the soil, supported the soil by different types of the structural elements like a Geotextile or use a metal skirt on both ends of the foundation, etc.

This study has been realized in two phases: the first phase consists in establishing a numerical model for skirt with two branches under a strip foundation resting on sand by using finite element analyses program (PLAXIS^{2D}) and determining the footing settlement and compared the results with the experimental ones (reference case). A close agreement between experimental and numerical curves is noticed. The second phase deals with studying the effect of changing the depth of the skirt on the bearing capacity of the soil and its settlement and this study show the depth of the skirt has an influence on the bearing capacity of the soil and its settlement, it was adoption the depth of the skirt (1.5B), for economically and safety for being reduces the value of settlements under strip foundation by (38.15%), and raises the bearing capacity the soil by (36.5%) in forces method.

Keywords: metal skirt - soil bearing capacity - settlement – strip foundation - finite element method - Plaxis.

Copyright



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

* Ph.D., Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Postgraduate Student (Master), Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
BoushraNasser@gmail.com

دراسة تأثير عمق الستارة المعدنية أسفل أساس شريطي يستند على تربة رملية على قدرة تحمل التربة والهبوط

د. صفوان عبدالله*

بشرى بسام ناصر**

(تاريخ الإيداع 2 / 5 / 2023. قُبِلَ للنشر في 8 / 6 / 2023)

□ ملخص □

تعتبر ترب التأسيس الرملية الضعيفة التحمل وذات الهبوطات الكبيرة من أكثر المشاكل الجيوتكنيكية الشائعة عند تنفيذ الأساسات السطحية، ومن أجل تحسين قدرة تحمل هذه الترب وتقليل هبوط الأساس المستند على هذا النوع من الترب، تعددت طرق تحسين تربة الأساس في الماضي منها: استبدال سماكة معينة من التربة بتربة أخرى جيدة التحمل، إضافة مواد لتحسين التربة، تدعيم التربة بأنواع مختلفة من العناصر الإنشائية كالجيوتكستيل أو استخدام ستارة معدنية وغير ذلك من الطرق.

لقد تم هذا البحث على مرحلتين: في المرحلة الأولى تم تشكيل نموذج عددي لستارة بفرعين أسفل أساس شريطي مستند على تربة رملية باستخدام (Plaxis^{2D}) وحساب هبوط الأساس الشريطي ومقارنة النتائج مع نتائج مخبرية مرجعية (حالة مرجعية)، حيث أعطت النتائج العددية تقارباً مقبولاً مع النتائج المخبرية.

المرحلة الثانية: الدراسة البارامترية لتأثير عمق الستارة المعدنية على قدرة تحمل التربة وهبوطها، حيث أظهرت الدراسة البارامترية أن عمق الستارة له تأثير على قدرة تحمل التربة والهبوط أسفل الأساس الشريطي، تم اعتماد عمق الستارة المعدنية (DS=1.5B)، من أجل الناحية الاقتصادية ولناحية الأمان لكونه يقلل قيمة الهبوطات أسفل الأساس الشريطي بمقدار (38.15%)، ويرفع قدرة تحمل التربة بمقدار (36.5%) في طريقة القوى.

الكلمات المفتاحية: ستارة معدنية - قدرة تحمل التربة - الهبوط - أساس شريطي - طريقة العناصر المنتهية - Plaxis.

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



CC BY-NC-SA 04

* دكتوراه- كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالب دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. BoushraNasser@gmail.com

مقدمة:

عندما تتعرض التربة لتأثير حمولات خارجية يتولد في التربة إجهادات تؤدي إلى تشوه التربة بطريقتين إما أن تنتلدن التربة وتفقد مقاومتها على القص، أو تتعرض لانتقالات كبيرة (هبوطات)، وحسب استجابة التربة للحمولات نميز المفهومين التاليين: قدرة تحمل التربة على القص، الهبوط المسموح. ويتضمن التصميم التقليدي لأي أساس حساب قدرة تحمل التربة القصوى والهبوط المسموح ومن ثم اختيار القيمة الأصغر بينهما للتصميم، وبما أن الأساسات هي الجزء المسؤول عن نقل كافة حمولات المنشأ إلى تربة التأسيس لذلك يعتبر التحديد الدقيق لقدرة تحمل التربة والهبوط من أهم المسائل الأساسية في الهندسة الجيوتكنيكية، حيث جذبت مسألة حساب قدرة تحمل التربة عدد كبير من الباحثين على مر الزمن لتحديد بدقة ومحاولة إيجاد حلول قريبة من الواقع وخاصة في ظل السلوك اللاخطي للتربة والتنوع الكبير للعوامل التي تؤثر على قيمة قدرة تحمل التربة. وبالرغم من وجود عدد وفير من الدراسات والأبحاث التي تناولت موضوع حساب قدرة تحمل التربة لعدد من الحالات السابقة بطرق مختلفة تحليلية وتجريبية، إلا أن هذا الموضوع لا يزال من القضايا الملفتة للانتباه والمرغوبة في الدراسة في مجال الهندسة الجيوتكنيكية، وخاصة مع تطور وسائل البحث وقدرة الحواسيب والبرامج الهندسية يبقى السعي مستمر لتطوير العلاقات الأساسية أو التحقق من صحتها أو لدراسة تأثير عوامل أكثر بحيث تكون الغاية في النهاية الوصول إلى حلول أكثر دقة وقرباً من الواقع وتحاكي السلوك الفعلي للتربة.

تعد فكرة استخدام التسليح لتحسين قدرة تحمل التربة من أقدم تطبيقات الهندسة الجيوتكنيكية (Bell,1993) حيث كان يستخدم في حالة الأساسات السطحية كلا التسليحين الشاقولي و الأفقي لزيادة قدرة تحمل التربة وتقليل الهبوط (Mahmoud and Abdrabbo,1989 Das ,1999)

إن استخدام التسليح الأفقي المرن يعتبر فعالاً في تحسين قدرة تحمل التربة ولكن ستكون قيم الهبوط عالية، لذلك بدأ الباحثون بالتوجه إلى استخدام التسليح الشاقولي لتحسين قدرة تحمل التربة على الانهيار بالقص العام ولم ينظروا إلى الانهيار بالقص الموضعي والقص الثاقب، ومع تطور الأبحاث ظهر استخدام الستارة المعدنية وهي عبارة عن صفيحة فولاذية صلبة تثبت عند حافة الأساس وتخرق التربة بعمق محدود كإحدى الحلول لتحسين قدرة تحمل التربة (قص عام، قص موضعي، قص ثاقب) وكذلك للتقليل من هبوط الأساس

(Al-aghbari ,2002 Al-aghbari & Mohamedzein ,2004)

بدايةً كان استخدام الستارة شائعاً لفترة طويلة في حالة الهياكل البحرية أو المواقع التي تشكل فيها المياه خطراً حقيقياً، وكان استخدامها في الأساسات السطحية محدوداً وغير موجود على نطاق واسع، ولكن مع تقدم الأبحاث بدأ الباحثون التطرق إلى تفاصيل استخدام الستارة الانشائية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى المساهمة في إيجاد وسيلة عملية وواقعية لرفع قدرة تحمل التربة وتقليل هبوطها، من خلال استخدام ستارة معدنية أسفل أساس شريطي واقتراح موديل عددي بطريقة العناصر المنتهية يسمح بـ:
*الوصول لأفضل حل اقتصادي مدروس عددياً وسهل التنفيذ، لتحسين قدرة تحمل التربة أسفل الأساس الشريطي وتقليل الهبوطات، عند استخدام الستائر المعدنية.

*تسليط الضوء على أهم الاعتبارات التصميمية للسائير المعدنية، من خلال دراسة عمق الستارة المثالي والذي يعطي أكبر فعالية للستارة.

*إظهار مخططات الهبوطات أسفل الأساس المنسوبة إلى عرض الأساس مع قيم الإجهادات المختلفة، ومخطط عمق الستارة المنسوب لعرض الأساس مع الإجهادات المطبقة وقدرة تحمل التربة الحدية الموافقة. حيث سيتم إظهار تأثير عمق الستارة المعدنية على قدرة تحمل التربة أسفل الأساس، والهبوطات المنسوبة لعرض الأساس. يقدم هذا البحث مثلاً واقعياً لاستخدام هذا النوع من الطرق الاقتصادية في تحسين قدرة تحمل التربة.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن ويشتمل على المراحل التالية:

□ النمذجة بطريقة العناصر المنتهية:

- وضع موديل عددي لأساس شريطي مدعم بستارة معدنية أسفل طرفي الأساس وبترية ذات مواصفات محددة، مع تحديد الحمولات الخارجية المطبقة عليه وعمق حفرة التأسيس واعتماد تربة رملية.

- استخدام في النمذجة برنامج (Plaxis/2D) للنمذجة العددية ثنائية البعد بطريقة العناصر المنتهية.

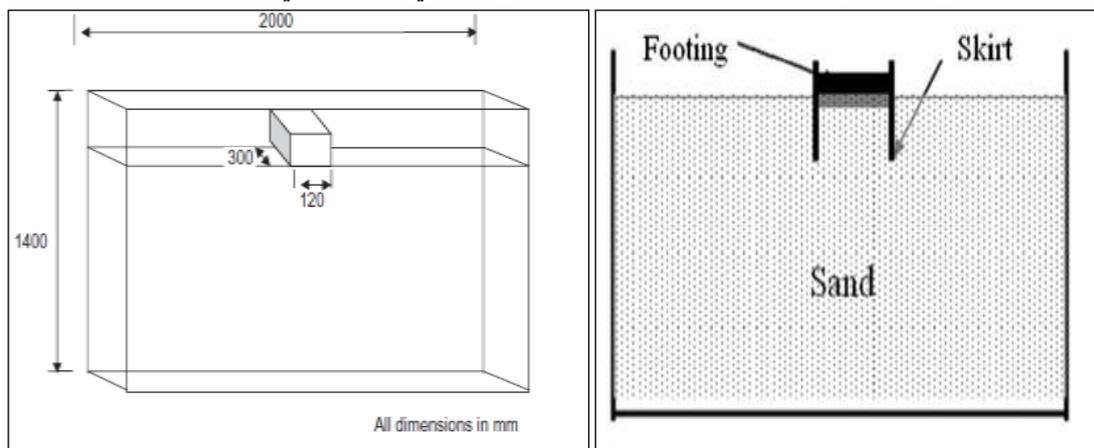
- معايرة الموديل واختيار قانون المادة الأنسب واقتراح موديل عددي مناسب مع كافة خواصه وشروطه الطرفية، للوصول إلى سلوك حقيقي للجملة الإنشائية المدروسة.

□ الدراسة البارامترية: أجريت دراسة عددية لتأثير تغيير عمق الستارة المعدنية الداخل في تصميم لستارة المعدنية على قدرة تحمل التربة أسفل الأساس الشريطي وهبوطها.

□ تحليل النتائج ومناقشتها.

1. معايرة الموديل العددي

يتكون المثال المرجعي نموذج مخبري لأساس شريطي مدعم بستارة معدنية ذات فرعين (ستارة معدنية في كل طرف) ضمن تربة رملية، وقد تمت نمذجته باستخدام PLAXIS^{2D} بنفس الأبعاد الهندسية والشروط الطرفية ومواصفات المواد المستخدمة لأحد الدراسات المرجعية السابقة للباحثان [1]، ويظهر ذلك في الشكل التالي:



الشكل [1] - موديل مخبري لأساس شريطي بأبعاد مخبرية مصغرة بالـ (mm) ضمن تربة رملية.

-تم اختبار الأساس في خزان مصنوع من إطار فولاذي صلب مقوى، وبجوانب زجاجية مقواة، وذلك لمحاكاة حالة تشوهات مستوية تحت أساس شريطي.

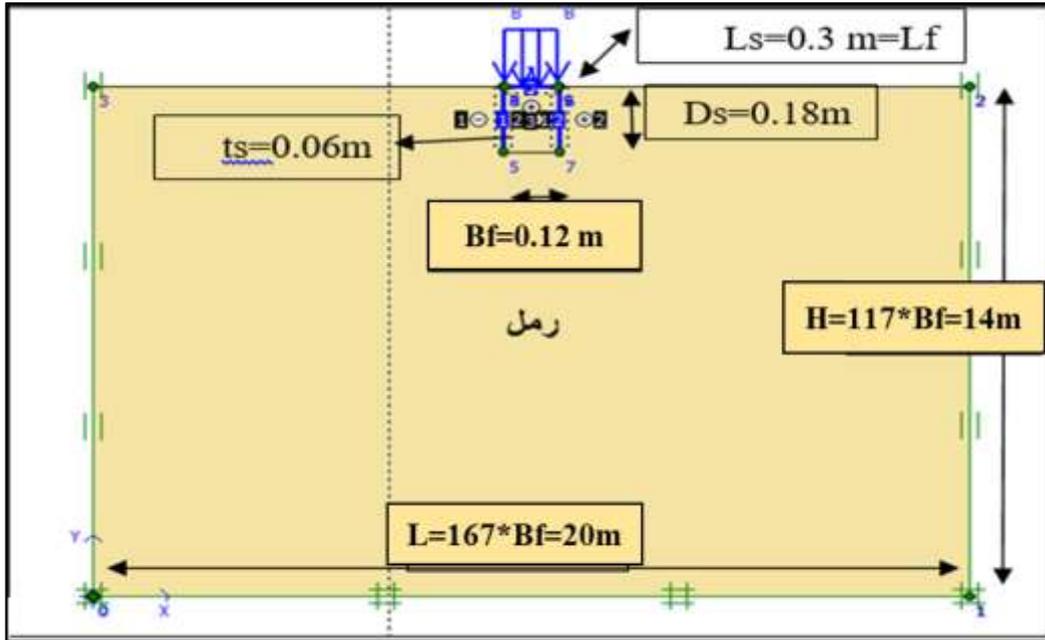
-أبعاد الخزان الداخلية (1.4 m*2m)، الأساس صفيحة معدنية فولاذية صلبة في منتصف الخزان، أبعاد الأساس (العرض=0.12m=Bf) * (الطول=0.3m=Lf)، والأبعاد مأخوذة بالاعتماد على

(Ko and Davidson, 1973 and Kirkpatrick et al., 1987) [3] [4]

-الستارة عبارة عن صفيحة معدنية متوضعة عند طرفي الأساس الشريطي، اتصلت بجوانب الأساس بسماكة (ts=6mm)، وعمقها (Ds=0.18m) وممتدة على طول الأساس الشريطي (Ls=Lf=0.3m)، يحيط بالأساس تربة رملية مواصفاتها تظهر في الجدول التالي حسب [1].- تم نمذجة الأساس والستارة كصفيحة معدنية مرنة. تم تطبيق حمولة موزعة أعلى الأساس الشريطي متغيرة القيمة.

الواحدة	القيمة	الرمز
KN/m	$3.24 * 10^{12}$	معامل صلابة الأساس (EA)
KN.m ² /m	$3.88 * 10^9$	النموذج كصفيحة معدنية للأساس EI
Kpa	$90 * 10^{12}$	معامل مرونة الستارة المعدنية (E _{sk})
KN/m	$6480 * 10^3$	معامل صلابة الستارة EA
KN.m ² /m	$10^{14} * 1944$	المعدنية للستارة EI
KN/m ³	16.45	الوزن الحجمي للرمل (γ _s)
Kpa	0.01	التماسك (C)
°	39	زاوية احتكاك الرمل (Θ)
-	0.1	معامل بواسون للرمل (ν _s)
KN/m ² /m	80000	معامل النفاذية للرمل (Ks)
Kpa	60000	معامل المرونة الأدمتري والقاطع ($E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref}$)
Kpa	$10^5 * 1.8$	$E_{ur}^{ref} = 3 * E_{oed}^{ref}$ معامل مرونة التحميل والتفريغ
-	0.64	معامل صلابة السطح البيئي ($(\tan(2/3(\Theta))) = R_{inter}$)

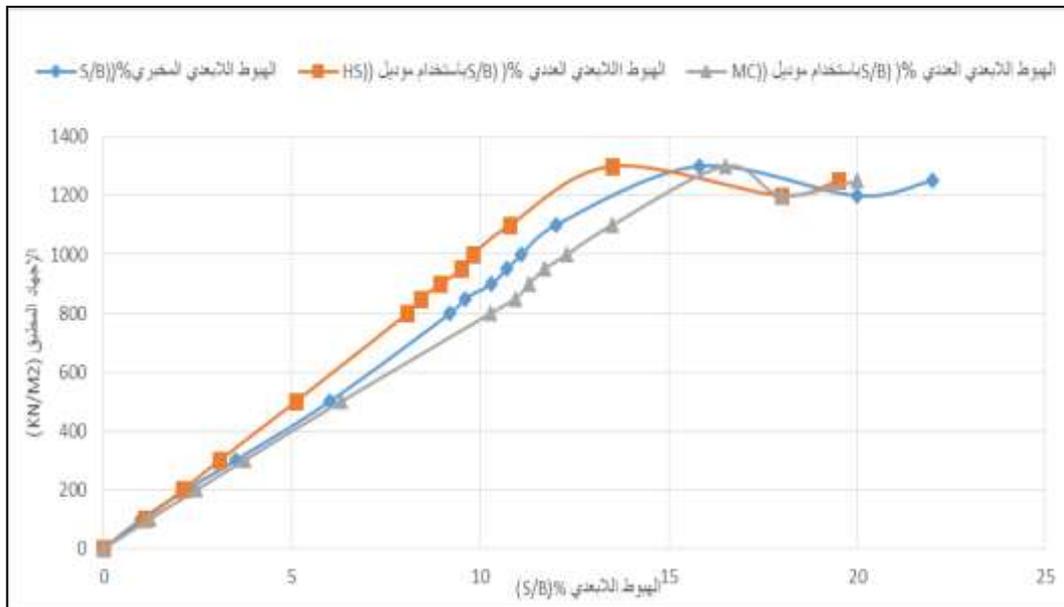
-تظهر الأبعاد والشروط الطرفية للموديل العددي المستخدم في المعايرة وفق الشكل التالي:



الشكل [2] - حدود وأبعاد نموذج المعايرة [1].

2.1. تحقيق الموديل:

- تم نمذجة الموديل المخبري في برنامج (Plaxis - 2D, 8.6)، باستخدام قانوني السلوك (Hs and MC)، وتم مقارنة نتائج النمذجة العددية مع نتائج القيم المخبرية لمنحني قيم الهبوط أسفل منتصف الأساس والمنسوب إلى عرض الأساس مع الإجهاد الشاقولي المطبق على الأساس. تظهر نتائج المعايرة في الجدول السابق والشكل التالي:



الشكل [3] - منحنيات قيم الهبوطات الموافقة للإجهادات والمحسوبة عددياً ومخبرياً.

الجدول (2) - الهبوط المنسوب إلى عرض الأساس عند عدة إجهادات في حال استخدام عدة قوانين سلوك.

المطبق الإجهاد-Kpa	0	100	200	300	500	800	850	900	950	1000	1100	1300	1200	1250
المنسوب المخبري الهبوط الأساس لعرض % (S _L /Bf)	0	1	2.2	3.5	6	9.2	9.6	10.3	10.7	11.1	12	15.8	20	22
إلى المنسوب العددي الهبوط الأساس عوض % (S _{NM} /Bf) موديل باستخدام (MC)	0	1.22	2.47	3.73	6.31	10.28	10.94	11.3	11.7	12.3	13.5	16.5	18	20
إلى المنسوب العددي الهبوط الأساس عوض % (S _{NH} /Bf) موديل باستخدام (HS)	0	1.1	2.105	3.0793	5.1	8.06	8.42	8.94	9.5	9.8	10.78	13.5	18	19.5
الهبوط بين للفرق المئوية النسبة باستخدام العددي اللابعدى MC اللابعدى والهبوط المخبري % ΔS _{NLM}	0	18.14	10.84	6.21	4.88	10.46	12.26	8.85	8.55	9.76	11.11	4.24	10	9.09
الهبوط بين للفرق المئوية النسبة باستخدام العددي اللابعدى HS المخبري اللابعدى والهبوط % ΔS _{NLH}	0	9.09	4.32	12.02	15	12.39	12.29	13.2	11.21	11.71	10.17	14.56	10	11.36

مما سبق نلاحظ ما يلي:

1-تقارب شكل وقيم المنحنيات الممثلة للقيم المخبرية والعددية للهبوطات أسفل ومنتصف الأساس الشريطي تحت تأثير الإجهاد الشاقولي المطبق على الأساس.

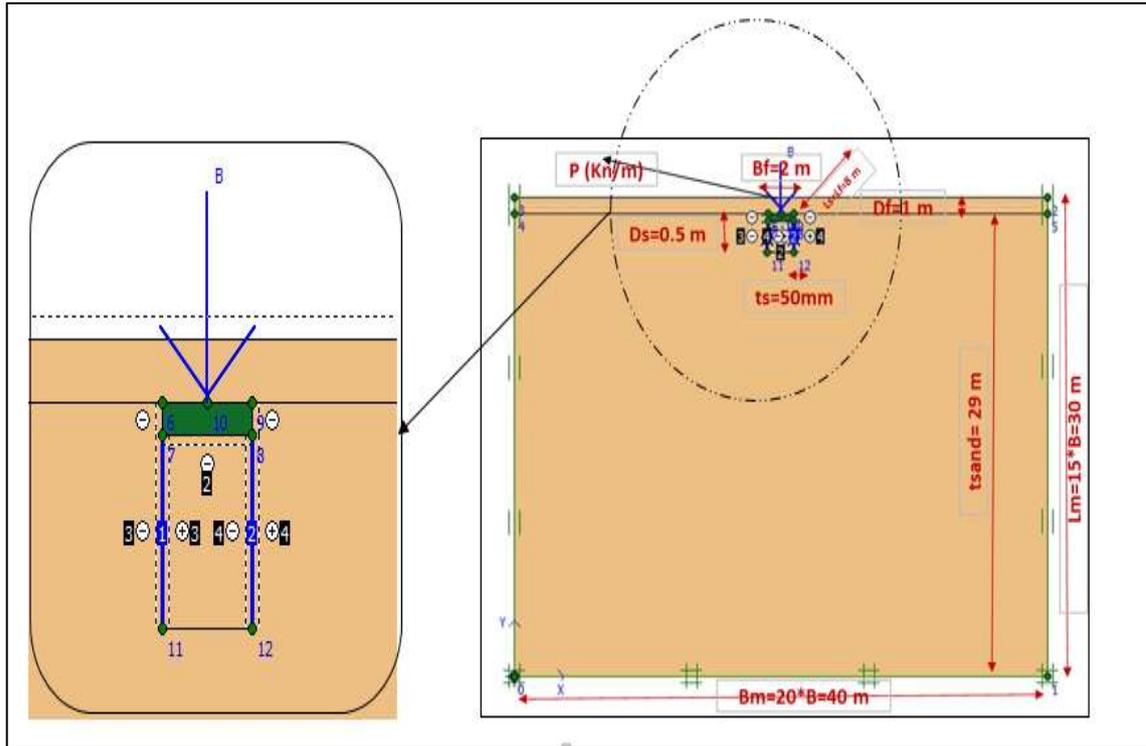
2-للتحقق من تقارب قيم المنحنيات العددية والمخبرية، تم حساب النسبة المئوية للفرق بين الهبوطات المنسوبة لعرض الأساس والمحسوبة مخبرياً، والهبوطات المحسوبة عددياً باستخدام قانوني السلوك (HS) و (MC)، تم ملاحظة تقارب جميع قيم النسب المئوية، فجميع النسب المئوية للفرقات ($\Delta < 15\%$ SNL) وهي قيم ضئيلة جداً، وبالتالي يعتبر الموديل العددي صحيح قادر على نمذجة سلوك التربة.

2. الدراسة البارامترية (parametric study):

1.2. الموديل العددي المقترح:

-بعد المعايرة واعتماد قانون سلوك التربة الأنسب (HS) تم اعتماد موديل عددي لنمذجة الأساس ال الشريطي المستند على تربة رملية. استخدمت الأبعاد والشروط الطرفية بالاعتماد على [2] (Eid, 2013)، نمذج الأساس كتربة بمواصفات بيتون مسلح، بأبعاد حقيقية (العرض=Bf=2m)*(الطول=Lf=8m)، مع تطبيق حمولة شاقوليه مركزة أعلى منتصف الأساس، (950KN-100) عمق التأسيس (Df=1 m)، استخدمت ستارة معدنية بفرعين على جانبي طرفي الأساس بدء من أسفل الأساس، تمت نمذجة الستارة كصفحة معدنية مرنة، أبعاد الستارة المقترحة بسماكة (ts=50mm)، وارتفاعها (Ds=0.25Bf=0.5m) وممتدة على طول الأساس الشريطي (Lf=8m)، تربة الموقع مكونة من تربة رملية متجانسة، اعتمد مواصفات التربة الرملية وفق [3].

استخدم موديل (HS) في نمذجة التربة الرملية أسفل الأساس، مع وضع سطح بيني يفصل بين التربة والأساس، وكذلك سطح بيني يفصل بين الستارة والتربة المحيطة. تم توثيق جميع أطراف الموديل، تظهر أبعاد الموديل المقترح والشروط الطرفية (Lm=15*B=30 m)*(Bm=20*B=40 m) وفق [7] (Sunil et al, 2013) في الشكل التالي:



الشكل [4] - حدود وأبعاد الموديل المقترح.

الجدول (3) - مراحل الحفر والحساب للموديل المقترح وفق PLAXIS.

رقم المرحلة	Stages construction
1	الحفر حتى منسوب التأسيس
2	غرز الستارة المعدنية من الطرفين من خلال الدق وتفعيلها مع تفعيل السطح البيئي الفاصل بين الستارة والترية الرملية المحيطة.
3	تنفيذ صب الأساس الشريطي مع تفعيل السطح البيئي الفاصل بين الأساس والترية المحيطة بجانب وأسفل الأساس.
4	تفعيل الحمولة الشاقولية المركزة أعلى ومنتصف الأساس وإعطائها قيم متغيرة حتى حصول الانهيار (الهبوط أكبر من 10 سم).

الجدول (4) - مواصفات المواد المستخدمة في الموديل المقترح [3].

الواحدة	القيمة	الرمز
Kpa	$25 \cdot 10^6$	معامل مرونة الأساس البيتوني (E_b)
-	0.25	معامل بواسون للبيتون ν_b
KN.m ² /m	2083.33	EI المعدنية للستارة
Kpa	$2 \cdot 10^8$	معامل مرونة الستارة المعدنية (E_{sk})
KN/m	2083.33	EA(معامل صلابة الستارة)

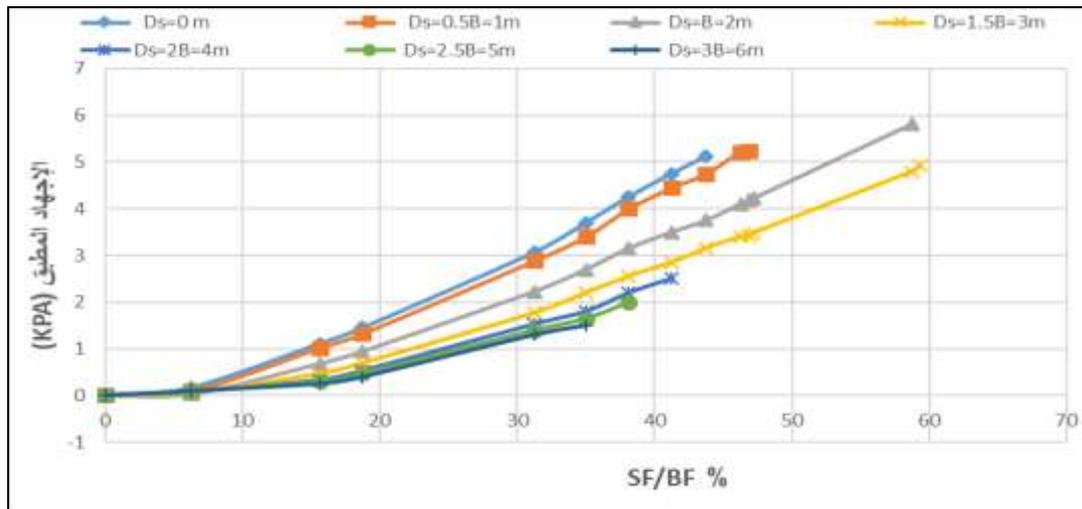
KN/m ³	16	الوزن الحجمي للرمل (γ_s)
Kpa	0.001	التماسك (C)
°	35	زاوية احتكاك الرمل (Θ)
-	0.3	معامل بواسون للرمل (ν_s)
Kpa	20000	معامل المرونة الأدمتري والقاطع ($E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref}$)
Kpa	$1.2 \cdot 10^5$	معامل مرونة التحميل والتفريغ $E_{ur}^{ref} = 3 \cdot E_{oed}^{ref}$
-	0.43	معامل صلابة السطح البيئي ($R_{inter} = ((\Theta) \tan(2/3))$)

2.2. دراسة تأثير تغيير عمق الستارة المعدنية (DS):

1.2.2. تأثير تغيير عمق الستارة (Ds) على الهبوط أسفل ومنتصف الأساس الشريطي (Sf):

- تم استخدام ستارة بفرعين ($N=2$) بجانب طرفي الأساس، وسماكة الستارة ($t_s=50\text{mm}$)، ثم تم حساب لقيم الهبوطات أسفل ومنتصف الأساس الشريطي باستخدام برنامج (Plaxis-2D, 8.6) عند تغيير عمق الستارة وفق ما يلي:
الجدول (5) - قيم الهبوط المنسوب إلى عرض الأساس عند قيم مختلفة لعمق الستارة المعدنية.

المطبق الإجهاد Kn/m ²	0	6.25	15.625	18.75	31.25	35	38.13	41.25	43.75	46.25	46.88	47.188	58.75	59.38
المطبقة القوة Kn	0	100	250	300	500	560	610	660	700	740	750	755	940	950
عندما ($t=50\text{mm}, N=2$)	الأساس عرض إلى المنسوب الهبوط قيمة % (Sf/Bf)													
Ds=0 m	0	0.174	1.114	1.455	3.070	3.700	4.250	4.750	5.117	-	-	-	-	-
Ds=0.5B=1m	0	0.100	1.025	1.331	2.886	3.400	4.000	4.450	4.750	5.221	5.224	5.356	-	-
Ds=B=2m	0	0.024	0.679	0.943	2.228	2.700	3.150	3.500	3.750	4.100	4.181	4.221	5.812	-
Ds=1.5B=3m	0	0.055	0.465	0.694	1.770	2.200	2.550	2.850	3.150	3.400	3.425	3.475	4.796	4.912
Ds=2B=4m	0	0.076	0.331	0.532	1.526	1.800	2.200	2.506	-	-	-	-	-	-
Ds=2.5B=5m	0	0.092	0.291	0.477	1.400	1.650	2.000	-	-	-	-	-	-	-
Ds=3B=6m	0	0.094	0.251	0.400	1.300	1.500	-	-	-	-	-	-	-	-



الشكل [5] - منحنيات قيم الهبوطات الموافقة للإجهادات عند أعماق مختلفة للستارة المعدنية.

-مما سبق نلاحظ ما يلي:

- 1- يقل الهبوط أسفل الأساس الشريطي مع زيادة عمق الستائر.
- 2- يتحمل الأساس الشريطي أعلى إجهاد شاقولي مطبق عليه وقدرة (59.38 Kpa) عند العمق ($D_s=1.5B=3m$)، مع المحافظة على هبوط أقل من الهبوط المسموح ($S_{all}<10\text{ cm}$)، ثم بعد هذا العمق تقل قيمة الإجهادات المطبقة على الأساس والموافقة للهبوط المسموح، ويفسر ذلك بأن العمق ($D_s=1.5B=3m$) للستارة، يعطي أفضل وأعلى توزع للإجهادات أسفل الأساس دون أن تؤثر الإجهادات على صلابة الستائر وتشوهها، بينما عند عمق الستائر ($D_s=2B=4m$) وما فوق، نلاحظ تقارب قيم الهبوطات بشكل كبير مع قيم الهبوطات في حالة ($D_s=1.5B=3m$)، مما يجعل الستائر تبدأ بالتشوه والتلدن عند الإجهادات (31.3 Kpa) وما فوق مع زيادة العمق. ويفسر ذلك بأنه مع توزع الإجهادات وحصرها أسفل الأساس على مساحة أكبر نتيجة لزيادة عمق الستارة، تزداد التشوهات الجانبية للتربة، مما يؤثر على الستائر بضغط جانبي يسبب تشوهات كبيرة للستائر مع زيادة الإجهاد.
- 3- لم يتم إتمام رسم خطوط المنحنيات في الشكل [5] بسبب الوصول لأعظم نقطة يكون عندها الهبوط مسموح، وكل القيم اللاحقة تصبح أكبر من الهبوط المسموح.



الشكل [6] - منحنى قيم الهبوط النسبي الأعظمي عند أعماق مختلفة للستارة.

- 3- إن العمق ($D_s=1.5B=3m$) للستارة يعطي أكبر فعالية للستارة في تقليل قيمة الهبوطات أسفل الأساس الشريطي، وذلك لكونه يتحمل أكبر إجهادات مطبقة على الأساس وموافقة للهبوط المسموح دون أن تؤثر الإجهادات على صلابة الستائر وتشوهها، بينما عند طول الستائر ($D_s=2B=4m$) وما فوق، نلاحظ تقارب قيم الهبوطات بشكل كبير مع قيم الهبوطات في حالة ($D_s=1.5B=3m$)، وذلك بسبب وصول الستائر عند هذه الأعماق إلى حالة التلدن، مما يجعل الستائر لا تتأثر بالإجهادات الصغيرة ولكنها تبدأ بالتكسر عند الإجهادات (500 Kpa) وما فوق مع زيادة العمق، حيث يسبب توزع الإجهادات وحصرها أسفل الأساس على مساحة أكبر، تشوهات جانبية للتربة تؤثر على الستائر بضغط جانبي يسبب تكسر الستائر مع زيادة الإجهاد.

- 4- يقل الهبوط الأعظمي أسفل الأساس الشريطي بمقدار (38.15%) في حالة ($D_s=1.5B$)، وبالتالي من أجل الناحية الاقتصادية ولتوفير كلفة زيادة عمق الستارة وبسبب انخفاض فعالية الستارة بعد الطول ($D_s=1.5*B$) تم اعتماد حالة ($D_s=1.5*B$) كحالة مثالية في موديلنا العددي المدروس، بينما الباحثون [7] (Saleh et all, 2009)،

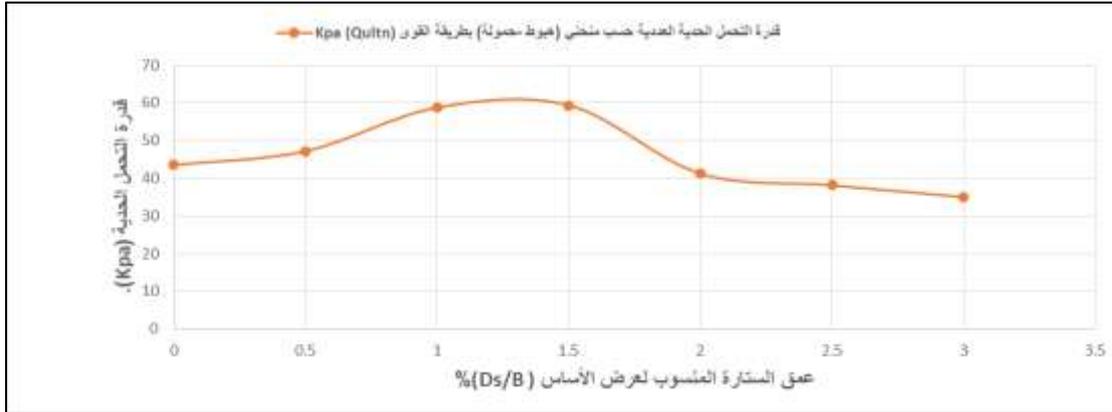
وجدوا أن العمق المثالي هو ($D_s = 0.5 * B$) في أثناء دراسة تأثير زيادة العمق للستارة على هبوط الأساس في الموديل المخبري المدروس لديهم.

2.2.3. تأثير تغيير عمق الستارة (D_s) على قدرة تحمل التربة أسفل الأساس الشريطي (S_f):

تم استخدام ستارة بفرعين ($N=2$) بجانب طرفي الأساس، وسماكة الستارة ($t_s=50\text{mm}$)، وحساب قدرة تحمل التربة أسفل الأساس الشريطي عددياً، باستخدام طريقة منحنى (هبوط الأساس-الحمولة الشاقولية المطبقة) (طريقة القوى)، حيث تم اعتبار قدرة تحمل التربة موافقة للنقطة التي يبدأ المنحنى فيها بالثبات، وفق الكود الأوروبي (MSZ EN 1997-2006)، تظهر النتائج وفق ما يلي:

الجدول (6) - قيم قدرة تحمل التربة العددية عند أطوال مختلفة للستارة المعدنية.

الحالة المدروسة	قدرة التحمل الحدية العددية حسب طريقة القوى (Q_{ultf}) Kpa
$D_s=0\text{ m}$	43.5
$D_s=0.5B=1\text{m}$	47.19
$D_s=B=2\text{m}$	58.74
$D_s=1.5B=3\text{m}$	59.38
$D_s=2B=4\text{m}$	41.25
$D_s=2.5B=5\text{m}$	38.13
$D_s=3B=6\text{m}$	35



الشكل [7] - منحنى قيمة الإجهادات العظمى المطبقة على الأساس عند أعماق مختلفة للستارة.

مما سبق نلاحظ ما يلي:

1-تزداد قدرة التحمل الحدية للتربة المحسوبة عددياً أسفل الأساس الشريطي مع زيادة عمق الستائر أسفل الأساس حتى الوصول إلى ($D_s=1.5B=3\text{m}$)، وهذا يتفق مع ما توصل إليه [8]، ثم تعود قدرة التحمل للانخفاض لتصبح أقل من قدرة تحمل التربة دون وجود ستارة عند ($D_s=2B$) وما فوق ويفسر ذلك لكون زيادة طول الستارة أكثر من

($D_s=1.5B=3m$) يسبب حصر مساحة كبيرة لتركز الإجهادات الشاقولية أسفل الأساس مما يجعل ضغط التربة الجانبي الناتج عن الحمولات الشاقولية المتزايدة يضغط على الستارة جانبياً وبالتالي تزداد تشوهات التربة الجانبية وتشوهات الستائر مما يسبب تحنيب الستائر وازدياد الهبوطات أسفل الأساس وبالتالي انخفاض قدرة تحمل التربة، وهذا يتوافق مع [7] الذين فسروا سبب ذلك لكون الستارة تعمل كدعامة من حافة واحدة فقط، ونتيجة لذلك يدور الأساس ويزداد الدوران مع ازدياد عمق الستارة.

2- إن استخدام ستارة في كل طرف للأساس الشريطي ($D_s=1.5B=3m$)، يعطي أكبر قدرة تحمل حدية محسوبة عددياً أسفل الأساس، حيث تزداد قدرة تحمل التربة بمقدار (36.5%).

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- إن تدعيم أسفل طرفي الأساس الشريطي بستارة معدنية بفرعين، يعتبر من أفضل الحلول الاقتصادية، سهلة التنفيذ لتحسين قدرة تحمل التربة وتقليل هبوطها، كبديل عن تحسين التربة أسفل الأساس الشريطي المستند على تربة رملية.
- 2- إن الطول الأمثل للستارة المستخدمة أسفل الأساس الشريطي، والذي يعطي أكبر فعالية للستارة المعدنية، ويشكل أفضل حل اقتصادي لتحسين التربة الرملية أسفل الأساس الشريطي وتقليل هبوطها، هو الطول ($D_s=1.5B=3m$).
- 3- إن استخدام ستارتين بطول ($D_s=1.5B=3m$)، أسفل طرفي الأساس الشريطي المستند على تربة رملية يقلل الهبوط الأعظمي أسفل الأساس الشريطي بمقدار (38.15%).
- 4- إن استخدام ستارتين بطول ($D_s=1.5B=3m$)، أسفل الأساس الشريطي، يحسن قدرة تحمل التربة أسفل الأساس بمقدار (36.5%).

References:

1. AL-AGHBARI. Y. M and MOHAMEDZEIN. E. Y, "Model testing of strip footings with structural skirts ". Department of Civil Engineering, Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman. (20 April 2004).
2. Eid. T. H, "Bearing Capacity and Settlement of Skirted Shallow Foundations on Sand". International Journal of Geomechanics, Vol. 13, No. 5, (October 1, 2013). ©ASCE, ISSN 1532-3641/ 2013/5-645-652/\$25.00.
3. Kirkpatrick W. M., Andrawes K. Z. and Wong F. K. (1987), "Contact pressures and failure mechanisms of square footings in sand". Proceeding.
4. Ko H.-Y. and Davidson L. W. (1973), "Bearing capacity of footings in plane strain". Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, 99, No. SM1, 1-22. Mahmoud M. A. and Abdrabbo F. M. (1989) Bearing.
5. MSZ EN ISO 1997 – 2 2006 "Eurocode 7: Geotechnical design. Part1: Gen-eral rules", 2006.
6. Ornek. M. C., Alis. i. Y., Redi. T and Kaya. N, "INVESTIGATION OF SKIRT EFFECT ON ECCENTRICALLY LOADED MODEL STRIP FOOTING USING LABORATORY TESTS". Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, 31200 Iskenderun/Hatay, Turkey, Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 58, No. 3, July, 2021 (Russian Original No. 3, May-June, 2021).

7. Saleh. M. N., A. M. Elleboudy.M. A and Elsaied. E. A. (2009), "*Behavior of skirted strip footing under eccentric load*". Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
8. Sunil, S., Pusadkar, M and Bhatkar, T. (6 June, 2013), "*Behavior of raft foundation with vertical skirt using plaxis 2d*". International Journal of Engineering Research and Development, Volume, Issue PP. 20-24.