

دراسة هبوط التربة الرملية تحت تأثير الأحمال باستخدام (PLAXIS 2D)

جمال الشريف^{1*}, مريم جابر², تقوى عبد الجليل¹, رفال عمران¹

1- قسم الهندسة المدنية, جامعة طرابلس, ليبيا

2- الهيئة الوطنية للبحث العلمي, ليبيا

المخلص:

نقل الحمولات الناتجة عن المشاءات إلى تربة التأسيس ينتج عنه غالباً هبوط الأساسات, ويعبر عن السلوك المرن للتربة الناتج عن تغير حجمي فيها أو عن السلوك اللدن الناتج عن انضغاط التربة وحركتها الجانبية مع تغير في بنيتها الداخلية. يركز المهندسين عادةً على طرق حساب الهبوطات التي هي دائماً مشكلة كبيرة لهم نتيجة لاختلاف طرق حسابها. وتعتبر التقنيات الحديثة في مجال هندسة التربة تهدف إلى تسهيل الحسابات وذلك لتقليل احتمالية وجود اختلافات أو أخطاء بالحسابات اليدوية وعدم الدقة، وكذلك السرعة. في ظل التقدم والتطور الذي يشمل هذا المجال سيستخدم برنامج (PLAXIS 2D) في هذا البحث وذلك لدراسة الهبوط تحت الأساسات القائمة على التربة الرملية بطريقة العناصر المحددة (Finite Element Method (FEM), وذلك لتنبؤ ومعرفة كلاً من الهبوط وقدرة تحمل التربة وعمق التأثير لتفادي انهيار المنشآت الهندسية والبنية التحتية. شملت هذه الدراسة عدداً من الحمولات المركزة ومعاملات خصائص التربة المتمثلة في كثافة التربة ومعامل المرونة ونسبة بوسون والتماسك وزاوية الاحتكاك لأربع مواقع في مدينة طرابلس، وتم دراسة تأثير هذه المتغيرات على الهبوط تحت أساس سطحي منفذ على التربة. أظهرت النتائج أن مقدار الهبوط يزداد بزيادة الأحمال المسلطة عليه، ويتغير نتيجة لتغير كثافة التربة واختلاف عمق التأثير حسب نوع التربة لكل موقع. بالإضافة إلى ذلك، تبين أن التربة المفككة يحدث لها هبوط كبير مقارنة بالتربة متوسطة الكثافة والكثيفة، ويرجع ذلك لخواص التربة وزيادة الفراغات بين الحبيبات. ويتغير شكل عمق التأثير بزيادة الأحمال من الشكل شبه دائري منتشر إلى شكل الاختراق Punching, وقيمة الهبوط تحت الأساس في المنطقة الوسطى تختلف عن قيم الهبوط في الأطراف.

الكلمات المفتاحية: هبوط الأساسات, تقنيات التربة, Plaxis.

Settlement Analysis of Sandy Soils Under Loading Conditions Using PLAXIS 2D

Abstract:

Pedestrian-induced loads on foundations often result in settlement, which can be attributed to the soil's elastic behavior due to volume changes or its plastic behavior caused by compression and lateral movement, accompanied by alterations in its internal structure. Engineers commonly encounter challenges in accurately calculating settlements due to the various methods employed. Modern geotechnical engineering techniques aim to simplify these calculations, reducing the likelihood of errors in manual

computations and improving efficiency. This study utilized the finite element method (FEM) implemented in PLAXIS 2D to investigate the settlement behavior of foundations resting on sandy soils. The objective was to predict both settlement and bearing capacity, as well as to determine the depth of influence to prevent structural failures. The study considered various concentrated loads and soil properties, including density, modulus of elasticity, Poisson's ratio, cohesion, and angle of internal friction, for four locations in Tripoli. The impact of these variables on the settlement of a shallow foundation was examined. Results indicated that settlement increased with increasing applied loads and varied based on soil density and depth of influence, which differed for each site. Furthermore, loose soils exhibited significantly greater settlement compared to medium and dense soils, attributable to their properties and increased void ratios. The depth of influence was observed to transition from a near-circular shape to a punching shape with increasing loads, and the settlement beneath the center of the foundation differed from that at the edges.

*Corresponding Author: j.alsharef@uot.edu.ly

1- مقدمة:

يحدث الهبوط نتيجة زيادة الأحمال الإستاتيكية أو الأحمال الحية علي طبقات التربة, و كذلك عند انخفاض مستوى المياه الجوفية و الذي يترتب عليه زيادة الإجهاد الفعال وبالتالي زيادة الإجهاد على التربة, و يحدث الهبوط عند إحداث تغيير في الإجهاد الفعال على طبقات التربة مثلما يحدث في أعمال المناجم و الأنفاق [1], حيث تؤدي الزيادة في الإجهادات الرأسية إلى تحريك التربة إلى أسفل, في الواقع تستقر معظم المباني بمرور الوقت ومع ذلك يمكن أن يحدث الهبوط على الفور, تقريباً بعد تطبيق الحمل أو يستغرق سنوات, وقد يكون الهبوط متفاوتاً (Differential Settlement) اعتماداً على ظروف التربة الأساسية وبسبب الحركة ما لم تكن هناك تغيرات في أنماط الصرف حول المبنى, أو تغيرات حاده في الطقس, أو عوامل خارجية أخرى. [4]

يتأثر تشوه الأساس أثناء التحميل بعدة عوامل أهمها صلابة الأساس التي تعكس مدى مقاومته للتشوه, وهنا نميز نوعين رئيسيين من الأساسات هما الأساس المرن (Flexible Foundation) وهو الأساس الذي لا يقاوم التشوه (الانحناء) ويأخذ شكل هبوط طبقاتاً لهبوط التربة تحته, الأساس الصلب (Rigid Foundation) وهو الأساس الذي يقاوم التشوه (الانحناء) وشكل هبوطه منتظم بخلاف التربة تحته. [5]

عند تحميل الأساس المستند على التربة بحمولة خارجية مركزة N فإن الإجهادات المنتشرة في التربة الطينية عند أطراف الأساس تكون أصغر من الإجهادات المنتشرة في التربة الطينية عند مركز الأساس, وبالتالي فإن التربة الطينية ستعاني هبوطاً عند

مركز الأساس يزيد في قيمته عن الهبوط عند أطرافه، ويأخذ سطح التربة الطينية شكلاً منحنيًا يدعى حوض الهبوط (Settlement Basin). [2] استخدمت Samiha (2018) شرائح الجيوغريد لتسيح التربة وذلك لتخفيف الهبوط وتحسين قدرة تحمل التربة تحت الأساسات المستمرة المنفذة على التربة الطينية. أجريت نمذجة عددية بطريقة FEM لدراسة سلوك التربة المسلحة تحت الأساس ذلك لإجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على قدرة تحمل التربة وأهمها موقع الجيوغريد تحت الأساس وأظهرت نتائج التحليل العددي أن إضافة طبقة تسليح من الشرائح المصنعة إلى التربة يحسن من قدرة تحمل التربة مما يؤدي إلى تخفيض الهبوط الناتج تحت الأساس، وإن وضع التسليح في التربة المسلحة يؤدي إلى توزيع الحمولات على مساحة أكبر بالتالي يؤدي إلى التقليل من تركيز الإجهادات ويسبب توزيع لهذه الإجهادات، وهذه الإعادة في توزيع الإجهادات تحت طبقات التسليح تؤدي إلى تخفيض الهبوط في الطبقات ذات قدرة التحمل الضعيفة. [1]

التربة الطبيعية غالباً غير متجانسة في الخواص بسبب التركيب المعدني للتربة (Composition) وبيئة الترسيب (Deposition). هذه الخواص تتغير من نقطة إلى نقطة وهذا التغير ربما يكون كبيراً حتى لو أن التربة متجانسة في الوصف حسب التصنيف، في أغلب مسائل الهندسة المدنية تعامل التربة بوصفها طبقة واحدة متجانسة أو عدداً من الطبقات ذات تجانس واحد لكل طبقة. وطرق التحليل العددي كطريقة العناصر المحددة والتي سبقتها طريقة الفروقات المحددة توفر تسهيلات لتمثيل طبقات التربة لحالات متجانسة أو غير متجانسة وبالاعتماد على متغيرات عديدة كعامل المرونة، ونسبة بوسون، ومقاومة القص، حيث إن معامل المرونة ونسبة بوسون يعتمد استخدامه في دراسات الهبوط في حين إن معامل القص يعتمد في حساب قابلية التحمل لوصف عشوائية التربة وبسبب التغير الواسع لمدى خواص التربة واحتمالات حالات التحميل الواسعة وانتشار العديد من البرامج الحاسوبية أصبح بالإمكان دراسة الهبوط ولحالات مختلفة وعمل دراسات إحصائية واسعة حول احتمالية الهبوط وعلى مدى واسع من حالات التحميل أو تغير خواص التربة. درس هذا التأثير على توزيع الاجهادات بفرض أن التربة عشوائية. [3]

درس Hasan&Halloum (2018) طريقة العناصر المحددة (FEM) من أجل تحليل ثنائي الأبعاد ببرنامج (PLAXIS V.8.6) لحساب قدرة تحمل التربة والهبوط بطريقة مخبرية وأخرى عددية (الدراسة البارامترية) لأساس سطحي دائري مستمر يخضع لحمولة مركزية شاقوليه مقام على تربة متعددة الطبقات مكونة من طبقة واحدة متجانسة ومكونة من طبقتين (الرمل والطين)، بفرض أن التربة (Plane Strain) وهي مرنة-لدنة، من خلال قانون مور-كولومب ذو خمسة عشر عقدة للعنصر الواحد، استنتج الباحثان أن في حالة التربة المتجانسة أعطت مقارنة نتائج التجارب المخبرية مع نتائج التحليل العددي ونتائج العلاقة النظرية تقارباً مقبولاً. وفي حالة نموذج تربة مكونة من طبقتين (طبقة ضعيفة من طين فوق طبقة قوية من رمل مرتص) بعد إجراء دراسة المتغيرات، تبين أن قدرة تحمل التربة تتناقص مع زيادة سماكة الطبقة الطينية

في حين أن الهبوط يزداد وهناك عمق حرج لا يكون بعده تأثير للطبقة القوية السفلية (الرمل) على قدرة تحمل التربة النهائية وآلية فشل القاعدة. [6]

استخدام Safwan&Bushra (2023) طريقة العناصر المحددة للنمذجة العددية ثنائية البعد باستخدام برنامج (PLAXIS 2D)، ذلك لحساب هبوط الأساس الشريطي ومقارنة النتائج مع نتائج مخبرية مرجعية، والدراسة البارامترية لتأثير عمق الستارة المعدنية على قدرة تحمل التربة وهبوطها، حيث تم تشكيل نموذج عددي لستارة بفرعين أسفل أساس شريطي مستند على تربة رملية حيث أعطت النتائج العددية تقارباً مقبولاً مع النتائج المخبرية وأظهرت الدراسة البارامترية أن عمق الستارة له تأثير على قدرة تحمل التربة والهبوط أسفل الأساس الشريطي، حيث أنه يقلل قيمة الهبوط أسفل الأساس الشريطي بمقدار (38.15%)، ويرفع قدرة تحمل التربة بمقدار (36.5%) [7].

وتكمن أهمية الدراسة، في إن استخدام برنامج (PLAXIS) سيساعد في معرفة مقدار هبوط التربة، وعمق الهبوط، وتأثير الهبوط عند أي عمق. وسيمكن من الحساب الدقيق لتشوّهات طبقات التربة تحت تأثير الأحمال الناتجة عن المنشآت، وتقديم مجموعة كبيرة من نماذج المواد لنمذجة سلوك أنواع التربة والصخور المختلفة بدقة. والتي توفر معاً تقييماً واقعياً للإجهادات والإزاحة للحصول على أوسع وأحسن استفادة من التطبيقات الإنشائية الهندسية وسيركز هذا المشروع على فهم سلوك أساس سطحي (Isolated footing) مستند على تربة رملية من خلال استخدام برنامج (PLAXIS) لحساب كلاً من قدرة تحمل التربة ومقدار الهبوط الناتج عن الأحمال المسلطة على التربة.

2- المعاملات ومنهجية الدراسة

1-2 معاملات التربة:

تم استخدام برنامج (PLAXIS 2D V20) في التحليل. والمبدأ الأساسي الذي يعتمد عليه البرنامج هو التحليل الغير خطي (Non-Linear Analysis) ضمن خمس خيارات تستخدم لوصف خصائص كل من التربة والصخور حسب وضعها الطبيعي. [8] الخيار الذي استخدم في الدراسة الحالية هو نموذج مور-كولمب (Mohr-Coulomb Model) والذي يتطلب إدخال خمس متغيرات لوصف خواص التربة، معامل المرونة Young's Modulus، نسبة بوسون Poisson's Ratio، التماسك Cohesion، زاوية الاحتكاك Friction Angle، و زاوية التوسع الحجمي Dilatancy Angle.

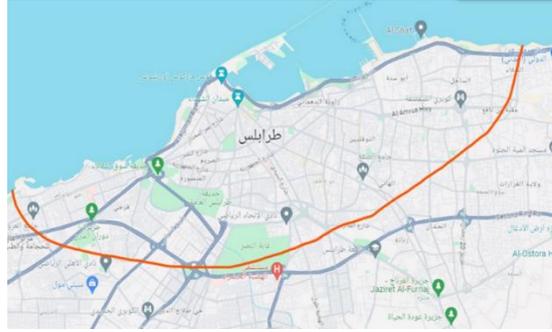
ولكون هذه المتغيرات تمثل خصائص التربة بشكل أكبر ولأنه التربة في الغالب ذات سلوك غير خطي فضلاً عن التسهيلات المتوفرة في البرنامج فقد تم الاعتماد على استخدام برنامج (PLAXIS 2D) في الدراسة. حيث يوفر هذا البرنامج إمكانية دراسة الهبوط بنوعيه الهبوط المباشر (Immediate Settlement) و هبوط التصلب (Settlement Consolidation) وتمثل التربة بحالتيه الجافة والمشبعة. فضلاً عن توفير إمكانية أسهل لتمثيل الأساس من خلال المتغيرات المتمثلة بالوزن النوعي للخرسانة، ومعامل المرونة، ونسبة بوسون، وسمك الأساس. سوف يتم اعتماد سمك الأساس لكافة فقرات الدراسة من أجل مقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها عند

تطبيق برنامج (PLAXIS 2D) لدراسة حالة الهبوط تحت أساس سطحي مستند على تربة رملية.

2-2 خواص المواد المستخدمة في البرنامج

طبقت الأحمال على الأساسات و فوق خريطة إنشائية لمبنى مكون من أربع طوابق، وتم اختيار ثلاثة أحمال (3000,1700,300) KN بناءً على أصغر ومتوسط وأكبر قيم، وطبقت على قاعدة ابعادها 2*2 م. تم اختيار أربع مواقع مختلفة (TR₁,TR₂,TR₃,TR₄) في مدينة طرابلس كما هو موضح بالشكل (1). وتم استخدام Logs Borehole الخاصة بهذه المواقع. ولإيجاد خواص التربة لكل طبقة تم استخدام المعادلة (1) Das لإيجاد زاوية الاحتكاك، وفرضت قيمة التماسك C صفر باعتبار إن التربة رملية، وتبين الجداول (4-1) خواص التربة التي تم استخدامها.

$$\Phi(\text{deg})=27.1+0.3N60-0.00054(N60)^2 \quad (1) [5]$$



الشكل (1): منطقة الدراسة والمواقع المدروسة.

الجدول (1): خواص التربة TR₁

Layer No	1	2	3
Depth (m)	4.5	9	1.5
Mohr-Coulomb Type	Silty Sand(loose) Drained	Silty Sand(mid to den) Drained	Silty Sand(loose) Drained
γ_{unsat} (KN/m ³)	17.5	19	17.5
γ_{sat} (KN/m ³)	17.5	19	17.5
E_s (KN/m ²)	25000	30000	25000
ν	0.25	0.3	0.3
C (KN/m ²)	1	1	1
Φ	28.88	34.17	29.27
Ψ	0.0	4.17	00

(γ) Unit white of soil (E) Young's Modulus (ν) Poisson's Ratio (C) Cohesion (Φ) Friction Angle (Ψ) Dilatancy Angle

الجدول (2): خواص التربة TR₂

Layer No	1	2
Depth (m)	4	4
Mohr-Coulomb	Silty Sand(SM)	Silty Silt (ML)
Type	Drained	Drained
γ_{unsat} (KN/m ³)	18	16.5
γ_{sat} (KN/m ³)	18	16.5
E_s (KN/m ²)	30000	40000
ν -	0.25	0.3
C (KN/m ²)	1	1
ϕ -	29.46	33.16
ψ -	0.0	3.16

الجدول (3): خواص التربة TR₃

Layer No	1	2
Depth (m)	4	2
Mohr-Coulomb	Silty Sand(SM) Mid dens	Silty Sand (SM) V.den
Type	Drained	Drained
γ_{unsat} (KN/m ³)	17	19
γ_{sat} (KN/m ³)	17	19
E_s (KN/m ²)	30000	40000
V -	0.35	0.35
C (KN/m ²)	1	1
Φ -	30.9	36.41
Ψ -	0.9	6.41

(γ) Unit weight of soil (E) Young's Modulus (ν) Poisson's Ratio (C) Cohesion (Φ) Friction Angle (Ψ) Dilatancy Angle

الجدول (4): خواص التربة TR₄

Layer No	1	2
Depth (m)	5	15
Mohr-Coulomb	Silty Sand (SM)	Silty Sand with GR
Type	Drained	Drained
γ_{unsat} (KN/m ³)	17.5	19
γ_{sat} (KN/m ³)	17.5	19
E_s (KN/m ²)	20000	28000
V -	0.3	0.35
C (KN/m ²)	1	1
Φ -	29.8	34.6
Ψ -	0.0	4.6

(γ) Unit weight of soil (E) Young's Modulus (ν) Poisson's Ratio (C) Cohesion (Φ) Friction Angle (Ψ) Dilatancy Angle

3- تحليل ومناقشة النتائج

يبين الجدول (5) قيم الهبوط الناتجة من تطبيق الاحمال 300, 1300, 1700 KN

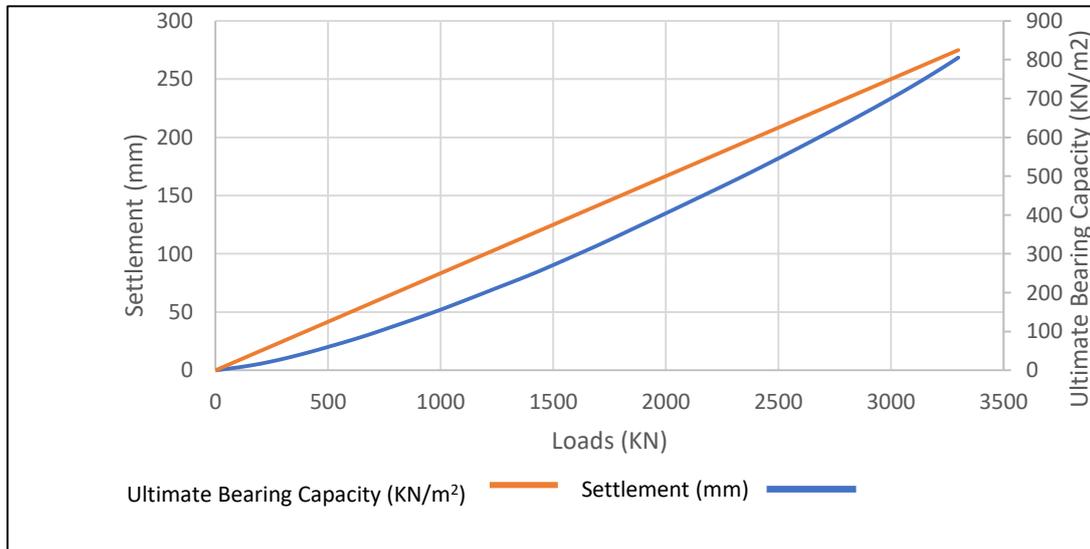
في البرنامج وعلى أنواع وحالات مختلفة من المواقع TR_1, TR_2, TR_3, TR_4 .

الجدول (5): نتائج الهبوط ب m.

الأحمال المواقع	300KN	1700KN	3000KN
TR_1	0.009854	0.1077	0.2339
TR_2	0.00615	0.05589	0.1111
TR_3	0.004379	0.0375	0.0717
TR_4	0.01053	0.1120	0.2414

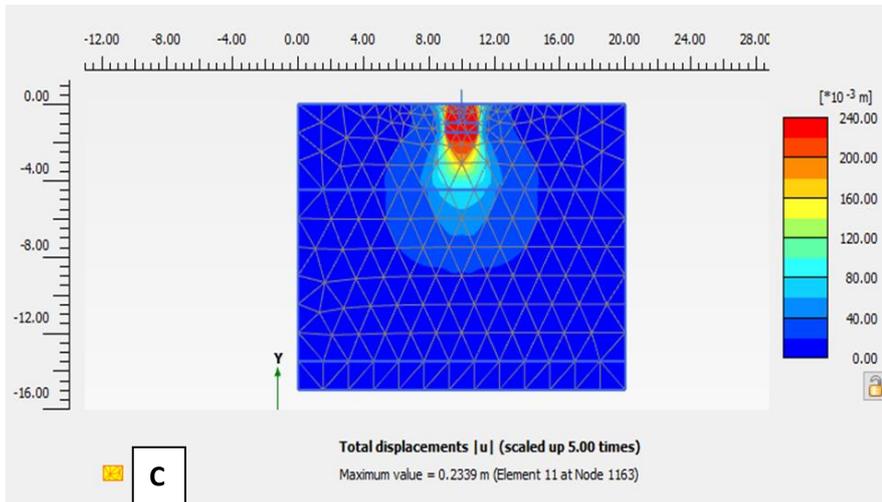
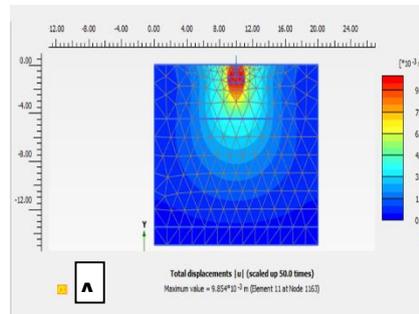
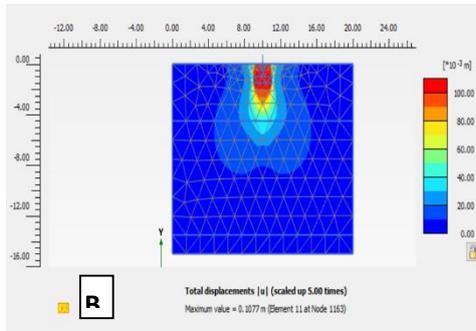
3-1 تأثير تغير هبوط التربة بزيادة الأحمال

يبين الشكل (2) تأثير تغير قيم هبوط التربة نتيجة زيادة الأحمال. بزيادة أحمال TR_1 تزداد قيمة الهبوط، حيث كان مقدار الهبوط 0.009854 m, 0.1077 m, 0.2339 m عند الاحمال المطبقة 300 KN, 1700 KN, 3000 KN على التوالي.



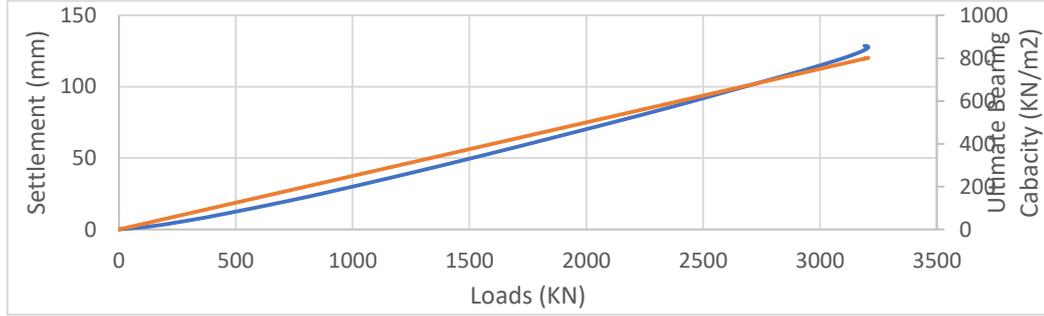
الشكل (2): تأثير تغير هبوط التربة بزيادة الأحمال TR_1

يوضح الشكل (2) إن أقصى قدرة تحمل تربة كانت عند حمل 3300 KN. وإن مقدار الهبوط عند الأحمال 1700 KN, 3000 KN أكبر من الهبوط المسموح 25 mm في حالة القواعد المنفصلة Isolated Footing، وإن أقصى هبوط كان عند الحمل 600 KN. ولتقليل مقدار الهبوط نقوم بزيادة عمق القاعدة D_f أو زيادة عرض القاعدة B وهذا الخيار غير عملي لأنه يسبب تداخل في القواعد، ولتجنب يمكن استخدام قواعد الحصيرة Raft Foundation وهذا النوع من القواعد أكثر استخداماً في المباني المتعددة الطوابق حيث يكون الهبوط المسموح به في هذا النوع من القواعد أقل من أو يساوي 50 mm. تبين الأشكال من (2A) إلى (2C) تأثير تغير قيم الهبوط في TR_1 حسب قيمة الحمل المسلط عليها، حيث يلاحظ بشكل واضح تغير نوع الهبوط في الشكل (2A) من هبوط منتشر في طبقات التربة إلى هبوط بشكل اختراق (Punching) تقريباً في الشكل (2C) ذلك نتيجة زيادة الأحمال وتضاعفها.



الشكل (2): عمق تأثير الهبوط للموقع TR_1 عند الأحمال: (A ,KN300 (B ,KN3000 (C ,KN1700

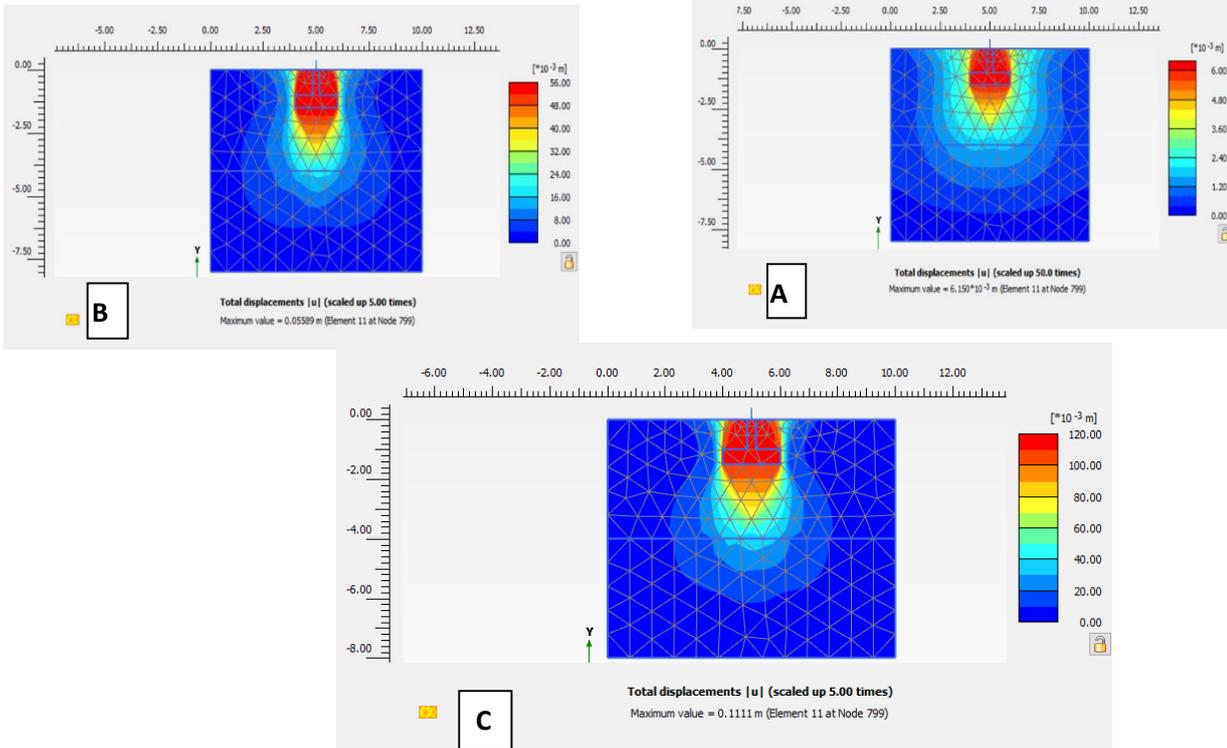
الشكل (3) يبين العلاقة بين الأحمال Loads والهبوط Settlements وأقصى قدرة تحمل تربة Ultimate Bearing Capacity لموقع TR_2 ، وبزيادة الحمل يزداد الهبوط في التربة، مما يؤدي إلى زيادة تكتيف التربة وتقليل الفراغات. حيث كانت قيمة



الهبوط تساوي 0.00615 m , 0.05589 m , 0.111 m عند الأحمال 300 , 1700 , 3000 KN على التوالي وأقصى قدرة تحمل تربة تساوي 825 KN/m^2 عند الحمل 3000 KN .

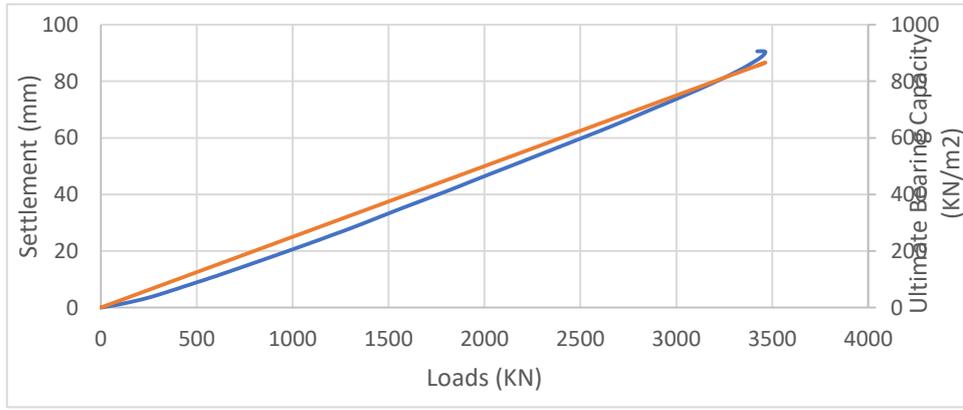
الشكل (3): تأثير تغير هبوط التربة بزيادة الأحمال للموقع TR_2

تبيين الأشكال (4A) إلى (4C) سلوك و تغير عمق التأثير تحت الأساس بتغير قيم الهبوط نتيجة تغير الأحمال للموقع TR_2 .



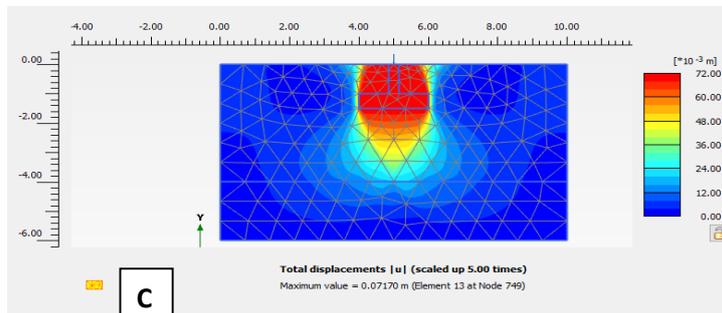
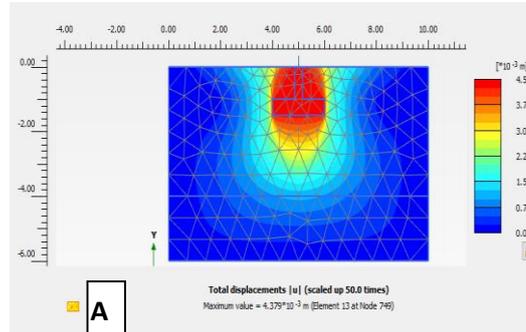
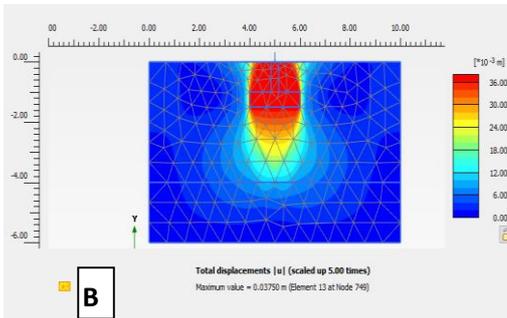
الشكل (4): عمق تأثير الهبوط للموقع
TR₁ عند الاحمال: (A ,KN300 (B ,KN3000 (C ,KN1700

بالنسبة لموقع TR₃, الشكل (5) يبين العلاقة بين الأحمال Loads والهبوط Settlements وقدرة تحمل التربة Ultimate Bearing Capacity ، فكلما زاد الحمل يزداد قيمة الهبوط، حيث لوحظ ان قيم الهبوط في هذا الموقع اقل منها في المواقع TR₁, TR₂. مما يدل على ان الهبوط أقل ما يمكن عند التربة الكثيفة لأنها أقل فراغات واكبر وزن كما مبين في الجدول (3). و كانت قيم الهبوط 0.004379 m, 0.0717 m, 0.0375 m عند الأحمال KN 3000 ,KN 1700 ,KN 300 على التوالي، و اقصى قدرة تحمل تربة 875 KN/m²، وأكبر حمل مسط تتحمله التربة KN3500.



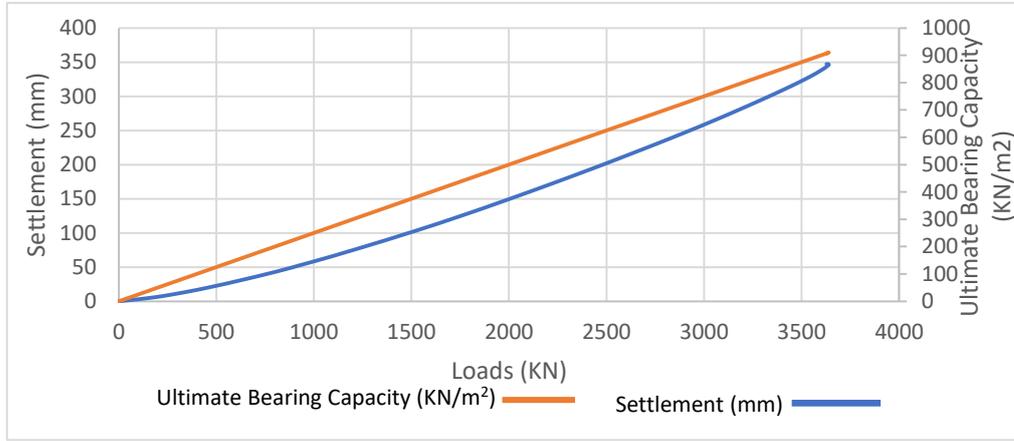
الشكل (5): تأثير تغير هبوط التربة بزيادة الأحمال للموقع TR₃

تبيين الأشكال (6A) إلى (6C) سلوك و تغير عمق التأثير تحت الاساس بتغير قيم الهبوط نتيجة تغير الأحمال للموقع TR₃.



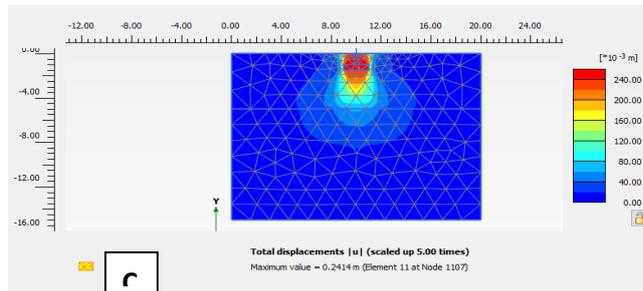
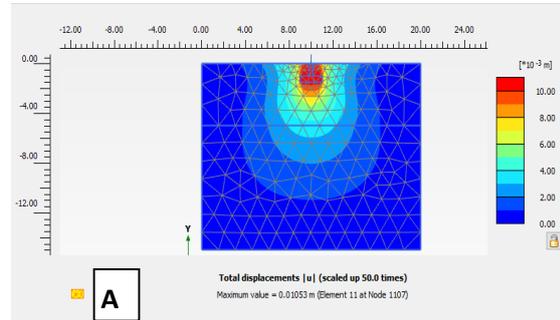
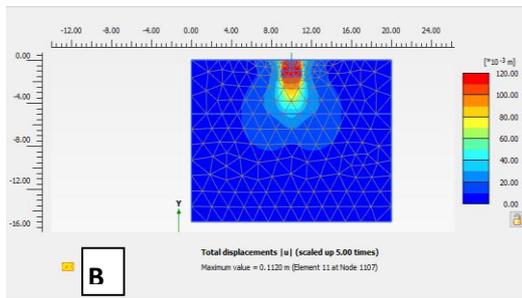
الشكل (6): عمق تأثير الهبوط للموقع TR₃
 عند الاحمال: (A KN300 (B KN1700 ,
 KN3000 (C

الشكل (7) يبين العلاقة بين الأحمال Loads والهبوط Settlements وقدرة تحمل التربة Ultimate Bearing Capacity بالنسبة للتربة TR₄، كلما يزداد الحمل يزداد كمية الهبوط كما ذكر في المواقع السابقة، حيث كانت اكبر قيمة هبوط مقارنة بباقي المواقع وذلك لان التربة مفككة وتحتوي على فراغات أكثر. وكان الهبوط عند حمل KN300 بمقداره 0.01053m، وعند الحمل KN1700 مقداره 0.1120m، وعند الحمل KN3000 مقداره 0.2414m. وأقصى قدرة تحمل التربة عند الحمل KN3600.



الشكل (7): تأثير تغير هبوط التربة بزيادة الأحمال للموقع TR₄

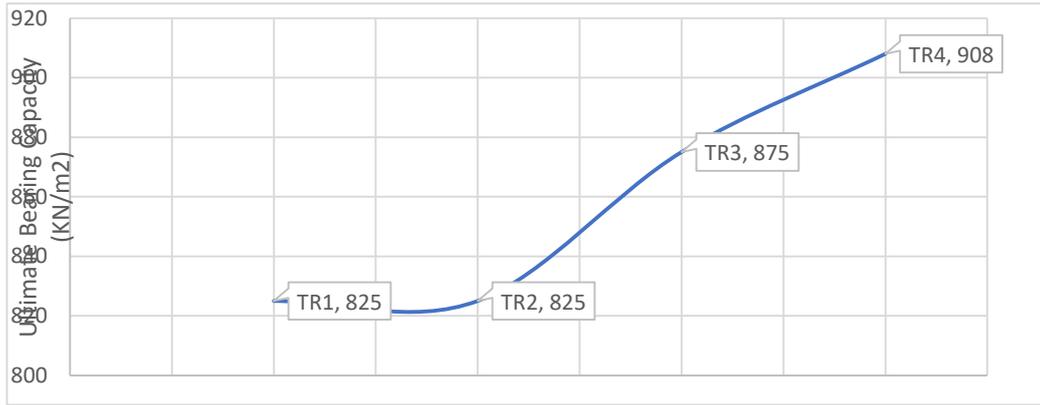
تبين الأشكال (8A) إلى (8C) سلوك و تغير عمق التأثير تحت الاساس بتغير قيم الهبوط نتيجة تغير الأحمال للموقع TR₄.



الشكل (8): عمق تأثير الهبوط للموقع
TR₄ عند الاحمال: (A ,KN300 (B ,
KN3000 (C ,KN1700

2-3 تأثير تغير قدرة تحمل التربة

قدرة تحمل التربة Ultimate Bearing Capacity تختلف باختلاف الموقع TR₁, TR₂, TR₃, TR₄ حيث أن اقل قيمة لقدرة التحمل كانت عند TR₁ و TR₂ و اكبر قيمة عند TR₄ كما يبين الشكل (9) العلاقة بين المواقع المختلفة وقدرة تحمل التربة. حيث يلاحظ زيادة قدرة تحمل التربة بالرغم من زيادة الهبوط في الموقع TR₄. وتعزى هذه الزيادة في قدرة التحمل الى ارتفاع قيمة زاوية الاحتكاك الداخلى كما هو مبين بالجدول (3,4). وفي حين أن قدرة التحمل هي مقياس لمقاومة التربة للفشل تحت الأحمال المطبقة، فإن الانهيار هو تشوه (هبوط) التربة تحت تلك الأحمال. غالبًا ما يرتبط هذا بالتربة ذات قوة القص العالية، مثل الرمال الكثيفة أو الطين الصلب، حيث يمكن لهذه التربة مقاومة الأحمال العالية دون فشل. [9]



الشكل (9): يوضح قدرة تحمل التربة بالنسبة لـ TR₁, TR₂, TR₃, TR₄

- من خلال النتائج التي تم الوصول اليها نجد أن المواقع TR₁, TR₂, TR₃, TR₄ يحدث لها هبوط صلب عند الحمل 300 KN ويحدث الهبوط المرن عند الأحمال 1700 KN, 3000 KN، عندما يكون مقدار الهبوط أقل من 25 mm هذا يبين إن التربة كثيفة جداً، عندما يكون مقدار الهبوط أكبر من 25 mm تكون التربة مفككة.
- وجد أن عمق التأثير يتأثر بخواص التربة، ففي التربة الرملية الكثيفة يكون عمق التأثير أقل من التربة الرملية المفككة. لذا تم دراسة عمق التأثير للمواقع الأربعة عند الحمل 3000 KN، وكان عمق التأثير للمواقع TR₁ و TR₂ و TR₃ و TR₄ يساوي 8 m, 5m, 6m, 8m على التوالي. ووجد أن في المواقع TR₄, TR₁ كان عمق التأثير أكبر من المواقع TR₂ و TR₃ ويرجع ذلك لكثافة التربة والتواصل بين الحبيبات وكذلك التشوه والفراغات .
- يتأثر شكل عمق التأثير بقيم الأحمال المسلطة عليه حيث لوحظ أن في الموقع TR₁ عند مقدار الحمل 300 KN كان شكل التأثير منتشر كما مبين في الشكل (2A) وعند

تسليط حمل مقداره 1700 KN تغير شكل التأثير كما موضح في الشكل (2B) بينما عند الحمل 3000 KN نجد إن شكل التأثير أصبح بشكل اختراق Punching كما مبين في الشكل (2C). وعلي العكس في الموقع TR_3 نجد أن عند تسليط حمل 3000 KN كما موضح بالشكل (6C) لا يصل عمق التأثير إلى شكل الاختراق Punching ويرجع ذلك لقلّة الفراغات بين حبيبات التربة وكثافتها.

- تغير مقدار الهبوط تحت الأساس في المنطقة الوسطى والأطراف كما ذكر في الدراسات السابقة [2], حيث أن في التربة الطينية يكون مقدار الهبوط عند مركز الأساس أكبر من قيمة الهبوط عند أطرافه , ولكن في التربة الرملية عند تسليط مقدار الحمل 3000 KN على المواقع TR_1, TR_2, TR_3, TR_4 تكون قيمة الهبوط في المنتصف تساوي $m 0.2339, m 0.2414, m 0.0717, m 0.1111$, و كانت قيم الهبوط عند الأطراف تساوي $m 0.02200, m 0.2400, m 0.06400$, $m 0.1000$ على التوالي. وهذه القيم تبين أن في حالة التربة الرملية يكون مقدار الهبوط عند مركز الأساس قريب جداً من مقدار الهبوط عند الأطراف، ويرجع ذلك لبنية التربة وخواصها.

- تم إجراء مقارنة لنتائج التحليل، واستنتاج معادلات لحساب قيم الهبوط وقد استخدمت العلاقات الرياضية، ذلك لحساب قيم الهبوط المرنة، وتم تطبيق مجموعة من المعادلات والجداول اللازمة لإيجاد قيمة الهبوط [4,6], على الموقع TR_3 عند حمل مقداره 3000 KN كانت قيمة الهبوط المتحصل عليها من البرنامج $m 0.004379$. بينما كانت القيمة التي تم حسابها يدوياً من المعادلات المذكورة $m 0.002648$ حيث كانت النتيجة متقاربة إلى حد ما والفرق بين الطريقتين 1.7 mm .

لقد طور المهندسون الجيوتقنيون طرقاً لدعم الهياكل بأمان ونقل الأحمال إلى التربة. إذا كانت قدرة التحمل منخفضة أو غير كافية تتمثل إحدى الطرق في توزيع حمل هيكل على مساحة السطح يتم استخدام Raft Foundation. أو هناك خيار آخر وذلك عن طريق تجاوز طبقات التربة الضعيفة ونقل الأحمال إلى طبقات تربة أقوى أو حتى حجر الأساس، ويتم تحقيق ذلك باستخدام الأساسات العميقة Piles، أو يمكن أيضاً استخدام تحسين التربة مع الأساسات الضحلة للحصول على القوة اللازمة لدعم الهيكل وزيادة قدرة تحمل التربة.

4- الاستنتاجات

من خلال نتائج الدراسة تم التوصل إلى الاستنتاجات التي يمكن تلخيصها بما يلي:

1- يؤثر كلاً من نوع التربة الرملية والأحمال المسلطة على مقدار الهبوط، حيث وجد أن مقدار الهبوط أكبر في التربة الرملية المفككة حتى لو كان الحمل المسلط عليها صغير، ذلك نتيجة لحجم الفراغات الكبير بين الحبيبات. بينما تبين بأن التربة الرملية الكثيفة مقاومة نسبياً للأحمال وإن كانت كبيرة، ذلك لقلّة الفراغات وتراس الحبيبات فيما بينها.

2- كلما زاد الحمل المسلط على التربة يزداد مقدار الهبوط.

3- خواص التربة تلعب دوراً مهماً على كل من مقدار الهبوط وعمق التأثير حيث يختلف عمق التأثير من موقع للأخر باختلاف خواص التربة. حيث يتأثر شكل عمق

التأثير بزيادة الأحمال المسلطة عليه حيث في الأحمال الصغيرة كان شكل التأثير شبه دائري ومنتشر بينما عند تسليط مقدار حمل أكبر يكون شكل التأثير يقترب لشكل الاختراق Punching ويرجع ذلك لنسبة الفراغات.

4- يتغير مقدار الهبوط تحت الأساس في المنطقة الوسطى وفي الأطراف بتغيير صغير جداً في التربة الرملية على عكس ما يحدث في التربة الطينية التي يكون بها مقدار الهبوط عند مركز الأساس أكبر من الأطراف. ويكون هبوط التربة عادةً بسبب تشوه حبيبات التربة أو إعادة ترتيب حبيبات التربة.

5- وجود فراغات في التربة يمكن أن يؤثر بشكل كبير على قدرة تحملها وثباتها. حيث اختلفت قيم قدرة تحمل التربة من موقع لأخر حسب تركيب بنية التربة.

6- أظهرت طريقة استخدام البرنامج (Plaxis 2D) مرونة وسهولة في التعامل مع كافة المتغيرات وحالات التربة المختلفة، وكذلك يوفر البرنامج اختصاراً كبيراً للوقت والجهد. حيث تمت مقارنة نتائج الهبوط بالبرنامج مع الحسابات اليدوية، وتبين وجود تقارب كبير بينهما .

5- التوصيات

بناءً على الدراسة الحالية نقترح التوصيات التالية لدراسات المستقبلية:

1- توسيع مجال البحث من خلال إجراء دراسات لحالة تربة المتماسكة ($C \neq 0$) مثل التربة الطينية في حالة وجود تصريف وعدم تصريف للماء.

2- إجراء الدراسة على أنماط أخرى من البرنامج بتطبيق ثلاثية الأبعاد (Plaxis 3D).

3- دراسة أشكال مختلفة من الأساسات كالأساسات المستطيلة والدائرية والحصيرية والمشاركة.

4- دراسة تداخل قاعدتين متجاورتين ومعرفة كلاً من مقدار الهبوط وعمق التأثير.

5- دراسة تأثير منسوب المياه الجوفية على مقدار الهبوط.

6- دراسة مقدار الهبوط تحت الأساسات في التربة الطينية عند مركز الأساس والأطراف.

7- مقارنة تأثير اختبار الاختراق القياسي SPT ومعاملات التربة على مقدار الهبوط عند عمق تأسيس موحد لأكثر من موقع.

المراجع:

1. أمينة خليل، سهيل إدريس الخطيب. (2008). تأثير الفجوات على قيم الهبوط تحت أسس معمل حديد. مدينة الموصل.

2. السيد عبد الفتاح القسبي. (2011)، كتاب تصميم الاساسات السطحية، الطبعة الثالثة، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.

3. سميحة عجيل. (2018). دراسة عددية لأداء أساس مستمر فوق تربة طينية باستخدام التربة المسلحة الجيوغريد. مجلة جامعة تشرين، سوريا.

المراجع الأجنبية :

1. Andrew Lees,(2019). Geotechnical Settlement: Types and How They Work.
2. Das, B.M. and Sobhan, K. (2013) Principles of Geotechnical Engineering. 8th Edition, CL Engineering, Ad Dikwani.
3. Malek Hasan. Walaa Halloum. (2020). Numerical Analysis and Model tests of the Bearing Capacity of shallow Strip Footing resting on Multi-layered Soils.
4. Safwan Abdullah. Boushra Bassam Nasser. (2023). Studythe Influence of the Depth of the MetalSkirt under Strip Foundation Resting on Sand on Bearing Capacity and Settlement
4. .R. B. J. Brinkgreve. Wout Broere. Dennis Waterman. (2004) Plaxis 2D - Version 8
6. Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill Education