تخمين قابلية تحمل التربة لأسس شريطية متقاربة بأستخدام طريقة العناصر المحددة

د. حيدر سعد الجبير
أستاذ مساعد-قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة-جامعة ذي قار

لمياء نجاح الطائي
طالبة دراسات عليا-قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة-جامعة تكريت

الخلاصة

تم دراسة تأثير تقارب ثلاثة أسس شريطية (متماثلة ومتوازية وعلى أبعاد متساوية من بعضها) على قابلية تحمل التربة باستخدام طريقة العناصر المحددة. تم تحليل أسس مرنة وأخرى صلدة (سطحية ومدفونة) تستند على نوعين من التربة ؛ طينية تحت ظروف عدم البزل ورمليه. لقد تم التعبير عن مقدار التأثير على قابلية التحمل والناجم عن تقارب الأسس بواسطة معامل الكفاءة (E_f) حيث يمثل النسبة بين قابلية تحمل الأسس المتقاربة وقابلية تحمل أساس منفرد مماثل تحت ظروف مشابهة. لقد أفرزت النتائج تأثيراً مهملاً للتقارب على قابلية تحمل الأسس المرنة. إن تقارب الأسس الشريطية الصلدة يؤدي بصورة عامة إلى زيادة قابلية التحمل . لقد كان لدفن الأساس فعل أخمادي على تأثير التداخل عند التقارب الكبير للأسس.

كلمات دليلية: قابلية تحمل التربة، أسس شريطية، تداخل الأسس، العناصر المحددة.

ESIMATION OF SOIL BEARING CAPCITY FOR CLOSELY SPACED STRIP FOOTINGS USINGTHE FINITE ELEMENT METHOD

Dr. Haider Saad Al-Jubair
Asst. Prof.-Dept. of Civil Engg.
College of Engineering-University of Thi-Qar

Lamia' Najah Al-Taay
M. Sc. Student-Dept. of Civil Engg.
College of Engineering-University of Tikrit

Abstract

The effect of footing closeness (of three parallel similar strip footings at equal distance from each other) on soil bearing capacity is studied using the finite element method. Flexible and Rigid (surface and buried) footings resting on clayey (under undrained conditions) and sandy soils, are analyzed.

The effect on bearing capacity due to footings interference is expressed by the efficiency factor (E_f), which represents the ratio between the bearing capacity of the closely-spaced footings and that of a similar single footing under the same conditions.
The results show negligible effect of interference on the bearing capacity of flexible footings. The closeness of rigid strip footings, generally, results in increasing the soil bearing capacity. The embedment depth has a suppressing effect on interference when the footings are very close to each other.

الرموز المستخدمة Nomenclature

A	مصفوفة عوامل التفاضل
B	عرض الأساس (m)
[B]	مصفوفة الانفعال – الإزاحة
c	تماسك التربة (kN/m^2)
[D]	مصفوفة المرونة
D_f	عمق الأساس(m)
E	معامل المرونة (Modulus of elasticity) (kN/m^2)
E_f	معامل كفاءة الأسس المتقاربة
[F]	متجه الأحمال العقدية الشاملة
$\{f^e\}$	متجه الأحمال العنصرية (Element load vector)
[J]	مصفوفة جاكوبي [Jacobian matrix]
[K]	مصفوفة الجساءة الشاملة (Global stiffness matrix)
$[k^e]$	مصفوفة الجساءة للعنصر (Element stiffness matrix)
[N]	مصفوفة دوال الشكل للعنصر
Px,Py,Pz	الأحمال السطحية المسلطة بالأتجاهات x,y,z
S	المسافة بين الأسس المتجاورة (مركز- مركز)
{u}	متجه الأزاحات في أي مكان داخل العنصر
u,v,w	الإزاحات العقدية بالاتجاهات x,y,z على التوالي

W_{BF}	الشغل المنجز من قبل القوى الجسمية
W_{ext}	الشغل الخارجي
W_{int}	الشغل الداخلي
Wp	الشغل المنجز من قبل القوى السطحية
X,Y,Z	القوى الجسمية بالأتجاهات الثلاثة
$\{\delta\}$	متجه الإزاحات العقدية الشاملة للجسم المجهد ككل
$\{\delta^e\}$	متجه الإزاحات العقدية للعنصر
$\{\varepsilon\}$	متجه الانفعال
ε_x , ε_y, ε_z	مركبات الأنفعال بالأتجاهات الثلاث
ϕ	زاوية الأحتكاك الداخلي(Degree)
γ	الكثافة الوزنية للتربة (kN/m^3)
γ_{xy}, γ_{yz}, γ_{zx}	الأنفعالات القصية
υ	نسبة بواسان (Poisson's ratio)
ζ, η, ξ	الإحداثيات الموضعية للعنصر
$\{\sigma\}$	متجه الأجهاد
σ_1, σ_2 , σ_3	الاجهادات الأساسية(kN/m^2)
τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{zx}	الأجهادات القصية

المقدمة

من المهم دراسة تصرف الأسس المتقاربة (Closely spaced footings) حيث يندر عملياً أن تكون الأسس معزولة. تستعمل الأسس الشريطية (Strip footing) ، عموماً ، كأساسات للمنشآت اليومية مثل الجدران والبنايات الواطئة لكن الاهتمام بمسألة الأسس الشريطية المتقاربة ، كثيراً ما تركز حول خطوط السكة الحديدية (Railway tracks) [*Graham (1984)* وآخرون]، حيث استخدمت ملايين من الأسس الشريطية المتوازية (العارضات التي تتخذ أساساً لخط السكة الحديدية) (The sleepers) ، عادة تحمل على حصى خشن خاص للطرق. **الشكل (1)** يبين الترتيب النموذجي لهذه الحالة.

يهدف البحث إلى دراسة حالة الإجهادات والتشوهات الحاصلة في التربة تحت أسس متقاربة باستخدام طريقة العناصر المحددة في عملية التحليل ومحاولة تخمين قابلية التحمل القصوى من تأثير التداخل بين هذه الأسس وذلك باعتماد علاقات تكوينية غير مرنة بين (الإجهاد – الانفعال). كما يهدف البحث إلى محاولة إيجاد علاقات ومنحنيات تصميمية مفيدة لمعامل كفاءة الأسس المتقاربة (Efficiency factor) من خلال مقارنة النتائج المستحصلة من تقارب الأسس مع نتائج أسس منفردة ولنفس نوعية الأسس المدروسة.

تحليل الأجهادات باستخدام طريقة العناصر المحددة

يمكن تعريف حالة الإجهاد في نقطة بستة مركبات تؤلف متجه الإجهاد{ σ} كما يأتي:

$$\{\sigma\} = \{\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx}\}^T \qquad (1)$$

الأحمال المسلطة تسبب تشوه الجسم مما يؤدي إلى حركة كل نقاط الجسم إلى مواقع جديدة. المحصلة هي إزاحات ذات ثلاث مركبات (u ,v ,w) موازية للمحاور (x ,y ,z) على التوالي ومعطاة بالمتجه { u } كما يأتي :-

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \qquad (2)$$

هنالك ستة مركبات انفعال تعرف تشوه الجسم مبينة بالمتجه { ε} كما يأتي :

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{zx}\}^T \qquad (3)$$

يرتبط متجه الإجهاد والانفعال بالعلاقة:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \qquad (4)$$

يمكن إيجاد مصفوفة الجساءة (Stiffness matrix) باستخدام مبدأ الشغل الافتراضي (Virtual work) حيث يكون الجسم المتشوه (Deformed body) في حالة توازن عندما يكون الشغل المنجز بوساطة القوى الداخلية مساوياً إلى الشغل المنجز بوساطة القوى الخارجية [*Dawe (1984)*] أي إن :

$$W_{int.} - W_{ext.} = 0 \quad (5)$$

حيث إن :

W_{int} يمثل الشغل المنجز بوساطة القوى الداخلية (Internal forces) ويتم الحصول عليه كما يأتي:

$$W_{int.} = \frac{1}{2} \int_{vol.} \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} \, d(vol) \quad (6)$$

وبتعويض المعادلة (4) نحصل على :

$$W_{int.} = \frac{1}{2} \int_{vol.} \{\varepsilon\}^T [D]\{\varepsilon\} \, d(vol) \quad (7)$$

وباعتماد نظرية التشوهات الصغيرة فإن علاقة الانفعال–الإزاحة يمكن التعبير عنها كالآتي:-

$$\{\varepsilon\} = [A]\{u\} \quad (8)$$

حيث إن [A] تمثل مصفوفة عوامل التفاضل :

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

وبفرض أن الإزاحة عبر العنصر يمكن تقريبها باستخدام :

$$\{u\} = [N]\{\delta^e\} \quad (9)$$

نحصل بالتعويض في المعادلة (7) على :

$$W_{int.} = \frac{1}{2} \int_{vol.} \{\delta^e\}^T [B]^T [D] [B]\{ \delta^e \} \, d(vol) \quad (10)$$

حيث إن $[B] = [A] [N]$

أما $W_{ext.}$ فيمثل الشغل المنجز بوساطة القوى الخارجية (External forces) وينتج من الشغل المنجـز بوساطة القوى الجسمية (Body forces) (X ,Y, Z) ويعطى كما يأتي:

$$W_{bf} = \frac{1}{2}\int_{vol}\{\delta^e\}^T[N]^T\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}d(vol) \qquad (11)$$

- الشغل المنجز بوساطة الأحمال الموزعة والمؤثرة على السطح كالآتي :

$$W_p = \frac{1}{2}\int_s\{\delta^e\}^T[N]^T\begin{Bmatrix} px \\ py \\ pz \end{Bmatrix}ds \qquad (12)$$

وبتعويض المعادلات (10), (11) , (12) بالمعادلة (5) ينتج :

$$[k^e]\ \{\delta^e\} = \{f^e\} \qquad (13)$$

حيث تمثل $[k^e]$ مصفوفة جساءة العنصر :

$$[k^e] = \int_{vol.}[B]^T[D]\ [B]\ d(vol) \qquad (14)$$

و $\{f^e\}$ متجهة أحمال العنصر :

$$\{f^e\} = \int_{vol}[N]^T\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}d(vol) + \int_s[N]^T\begin{Bmatrix} px \\ py \\ pz \end{Bmatrix}ds \qquad (15)$$

إن متجـه دوال الشكـ ـل يكـون بدلالـ ـة الإحداثيـ ـات الموضعيـة (ξ, η, ζ) أما مشتقاتها [B] فهـي بدلالة الإحداثيات الشاملة (Global coordinates) ، لذلك يمكن التعبير عن متجـه دوال الـشكل بدلالـة الإحداثيات الشاملة باستخدام قاعدة السلسلة (Chain rule) كما مبين لاحقآ:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} = [J]\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} \qquad (16)$$

حيث:

[J] : مصفوفة جاكوبي(Jacobian matrix) ويعبر عنها كما يأتي:

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \quad (17)$$

كذلك فأن الحجم التفاضلي للعنصر يمكن التعبير عنه بدلالة الاحداثيات الشاملة والموضعية كالآتي :

$$d(vol) = dx.dy.dz = /\ J\ /.d\xi.d\eta.d\zeta \quad (18)$$

وبـ ـالتالي فإن مصـ ـفوفـ ـة الجسـ ـاءة للعنصـ ـر يمكن حسـ ـابها باستخدام الصيـغة :

$$[k^e] = \iiint [B]^T [D][B]./\ J\ /.d\xi.d\eta.d\zeta \quad (19)$$

بعد ذلك يتم تجميع المصفوفات الخاصة بالعناصر لنحصل على معادلة مصفوفية شاملة للجسم الصلد المتشوه تحت تأثير الأحمال الخارجية وكالآتي :

$$[K]\ \{\delta\} = \{F\} \quad (20)$$

حيث يمثل {δ} متجه الإزاحات العقدية المجهولة و{F} متجه الأحمال الخارجية المسلطة و [K] مصفوفة الجساءة الشاملة .

إن تصـرف المـ ـواد يكـ ـون مرنـاً إلى حد معين من الإجهاد ويكون لدنـاً بعد تجـاوز هـ ـ ـذا الحد ولكن عنـ ـد حـ ـدوث كلا التـصرفيـ ـن (المـرن واللـ ـ ـدن) خـلال تقـ ـ ـدم عمليـ ـة التحميـ ـل فـان خصـ ـائص هذه المواد تكون (مرنة- لدنـة) (Elasto-plastic characteristic) [*Owen and Hinton (1980)*]. عنـد اعتمـاد اللاخطيـة الماديـة (Material or Physical non-linearity) في التحليل، تكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال (أو خواص أخرى للمادة) دوال معقـدة تفضي إلى اعتماد معاملات المعادلات على الحل إن العلاقات المنشأة من نظرية اللادونة تكـون عـادة تزايدية (Incremental) ، حيث يرتبـ ـط الإجهـ ـ ـاد والانفعال داخليـ ـاً بوسـ ـاطة تزايدهمـ ـا

وتصرفهما التفاضلي (Differential behavior) لذلك لا يمكن ربط الإجهاد الكلي (Total stress) بالانفعال الكلي (Total strain) بدون معرفة مسار التحميل (Loading path). في هذا البحث سيتم تسخير طريقة الجساءة الثابتة بمعية خوارزمية اللادونة اللزجة كطريقة عددية للحل (Viscoplasticity algorithm)، [Zienkiewicz and Cormeau (1974)] ، وبعناصر رباعية ذات ثماني عقد. أستخدمت دالة أذعان فون – مايسز للترب الطينية في ظروف عدم البزل (Undrained conditions) حيث تكون زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) مساوية للصفر. أما بالنسبة للتربة الاحتكاكية فسوف يتم تمثيلها باستخدام نظرية موهر- كولومب للإذعان [Chen and Baladi (1982)]. علما أن مؤشر حدوث الفشل في التربة هو عدم حدوث تقارب بين الإزاحات العقدية في التكرارات المتعاقبة[Griffiths (1982)].

الخصائص الهندسية للمسألة

سيتم تحليل وإيجاد قابلية التحمل والهبوط لأسس شريطية متقاربة ومتوازية مستندة على ترب متماسكة (Cohesive soils) وغير متماسكة (Cohesionless soils) ومحاولة استنباط قيم لمعامل كفاءة الأسس المتقاربة (E_f) الذي يساوي النسبة بين قابلية التحمل لمجموعة أسس متجاورة إلى قابلية التحمل لأساس منفرد وبنفس الأبعاد باستخدام طريقة العناصر المحددة حيث سخر برنامج حاسوب مأخوذ من [Smith and Griffiths (1998)]. أخذت ثلاثة أسس بعرض متساو (B=1m) ، تبتعد عن بعضها مسافة (S) مقاسه مركز لمركز و تم دراسة تأثير التداخل بينها على قابلية التحمل والهبوط بتغيير المسافة (S). الخصائص الهندسية للمسألة موضحة في **الشكل (2)** بينما يبين **الشكل (3)** شبكة العناصر المحددة المستخدمة في التحليل والتي اختيرت لتلائم التراوح في المسافة بين الأسس والامتداد المحتمل لمناطق التأثير.

أسس مستندة على تربة طينية

في هذه الحالة ، يتم دراسة أسس شريطية متقاربة مستندة على تربة طينية في ظروف عدم البزل. قيم خصائص التربة موضحة في **الجدول (1)**. تم اختيار عشر قيم للنسبة (S/B) هي (1,1.25,1.5,1.75,2,2.25,2.5,2.75,3,4) ، كما تم تحليل حالة S/B =1.16 ، حيث إنها ذكرت من قبل [*Graham (1984)*] كقيمة مؤثرة.

أسس مرنة على تربة طينية

الشكل (4) يوضح منحنيات (الحمل – الهبوط) (Load-settlement curves) ، محسوباً تحت الأساس الوسطي عند الخط المركزي ، لهذه الأسس ولقيم مختلفة من النسبة (S/B) بالمقارنة مع منحني أساس شريطي منفرد ، بينما يبين **الشكل (5)** تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f). يلاحظ عدم وجود تأثير محسوس لتقارب الأسس على قابلية التحمل بينما كانت هناك زيادة في مقادير الهبوط تحت مركز الأساس الوسطي هذه الزيادة تتلاشى عند نسبة لابعدية بحدود (2). **الشكلين (6 و 7)** يبينان حقلي الإزاحات عند الفشل لأسس شريطية مرنة متلامسة ومتقاربة عند (S/B=2). يلاحظ تلاشي تأثير التقارب عند هذه النسبة.

أسس صلدة على تربة طينية

في هذا الجزء يتم دراسة قابلية التحمل والهبوط لأسس شريطية متقاربة صلدة مستندة على تربة طينية حيث يتم تحليل أسس سطحية ومدفونة. عمق الدفن أخذ مساوياً إلى سمك الأسس البالغ (0.25 m). منحنيات (الحمل–الهبوط) للأسس الشريطية المتقاربة الصلدة (السطحية والمدفونة) ولنسب مختلفة من (S/B) مبينة في **الشكلين (8) و (9)** على التوالي، بينما يبين **الشكلين (10) و (11)** تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لهذه الأسس. لقد تبين أن تقارب الأسس يؤدي إلى زيادة في قابلية التحمل (هذه الزيادة تكون أقل للأسس المدفونة عند نسب أبعاد صغيرة) وزيادة في مقدار الهبوط تحت الأساس المركزي ويتلاشى هذا التأثير تدريجياً بتباعد الأسس عند نسبة أبعاد تبلغ بحدود (2) للأسس السطحية و(4) للأسس المدفونة. حقلي الإزاحات عند الفشل مبينين في **الشكلين (12 و13)** لأسس شريطية متقاربة صلدة (سطحية) ، بينما يوضح **الشكل (14)** مثيلهما لأسس شريطية صلدة (مدفونة) في تربة طينية. يلاحظ من هذه الأشكال حدوث ميلان (Tilt) واضح في الأساس الخارجي عند تقارب الأسس وتصرف الأسس كأساس واحد عند أتصالها (أي عند S/B=1).

أسس مستندة على تربة رملية

تم تحليل أسس شريطية متقاربة مستندة على تربة رملية تمتلك الخواص المبينة في **الجدول (2)** لقيم مسافات لابعدية هي (1,1.25,1.5,1.75,2,2.5,3,3.5,4,5,6).

أسس مرنة على تربة رملية

الشكل (15) يوضح تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لهذه الأسس. يتضح عدم تأثير التقارب بين الأسس المرنة على قابلية التحمل. **الشكلين (16 و 17)** يوضحان حقلي الإزاحات عند الفشل تحت أسس شريطية متقاربة (مرنة) ولقيمتين مختلفتين من النسبة (S/B) حيث يلاحظ أن الأسس تتصرف بصورة مستقلة عن بعضها عندما تكون قيمة النسبة مساوية إلى (2.5).

أسس صلدة على تربة رملية

هنا يتم تحليل أس شريطية متقاربة سطحية ومدفونة بعمق مساو لسمك الأسس البالغ (0.25m). الشكل **(18)** يبين منحنيات (الحمل – الهبوط) لقيم (S/B) المستخدمة. أما تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة لهذه الأسس فهو مبين في **الشكلين (19 و20)**. بصورة عامة فأن تقارب الأسس يؤدي إلى زيادة قابلية التحمل بالنسبة للأسس الصلدة السطحية على التربة الرملية وأن هذا التأثير يتلاشى عند ابتعاد الأسس لمسافة لابعدية تبلغ بحدود (3). أما بالنسبة للأسس المدفونة فقد لوحظت حالات انخفاض عن تحمل الأسس المستقلة لبعض قيم المسافات اللابعدية إلا أن التوجه العام هو زيادة في قابلية التحمل. كما يلاحظ زيادة الإزاحة تحت مركز الأساس الوسطي بتقارب الأسس وتضاعفها عند تلاصق الأسس وأن الإزاحة تكون أقل بكثير للأسس المدفونة مقارنة بمثيلاتها السطحية. حقلي الإزاحات عند الفشل لأسس شريطية متقاربة صلدة (سطحية) مبينان في **الشكلين (21 و 22)** بينما يبين **الشكلين (23 و 24)** حقلي الإزاحات لأسس صلدة مدفونة في تربة رملية. يلاحظ أن الفشل القصي من النوع المحوضعي (Local shear failure).

الاستنتاجات Conclusion

للحالات قيد الدرس، يمكن الخروج بالاستنتاجات الآتية:

1. يلاحظ عدم وجود تأثير محسوس للتقارب على قابلية تحمل الأسس المرنة المقامة على تربة طينية (تحت ظروف عدم البزل) ، بينما نلحظ زيادة في مقدار الهبوط تحت مركز الأساس الوسطي. إن هذا التأثير يتلاشى عند بلوغ النسبة اللابعدية (S/B) قيمة تربو على (2).

2. أن قابلية التحمل للأسس الصادة المقامة على تربة طينية (تحت ظروف عدم البزل) تزداد بتقارب الأسس وكذلك الحال بالنسبة للهبوط تحت مركز الأساس الوسطي. يضمحل هذا التأثير بتباعد الأسس وبلوغ النسبة اللابعدية قيمة قدرها (2) للأسس السطحية و (4) للأسس المدفونة. تم تشخيص حالة ميلان (Tilt) (باتجاه الأساس المركزي) بالنسبة للأسس الخارجية عند تقارب الأسس وتصرفها كوحدة واحدة عند اتصالها مع بعضها (أي عند S/B =1).
3. لم يسجل تأثير ملموس لتقارب الأسس المرنة المقامة على تربة رملية ، على قابلية التحمل. عند بلوغ النسبة اللابعدية قيمة قدرها (2.5) ، تتصرف الأسس بشكل مستقل عن بعضها البعض.
4. أن تقارب الأسس الصادة المقامة على تربة رملية يؤدي بصورة عامة إلى زيادة في قابلية التحمل وأن هذا التأثير يتلاشى عند ابتعاد الأسس لمسافة لابعدية تبلغ بحدود (3) بالنسبة للأسس السطحية. كما يلاحظ حالات انخفاض عن تحمل الأسس المستقلة بالنسبة للأسس المدفونة. بالنسبة للإزاحة تحت الأساس الوسطي فإنها تتزايد بتقارب الأسس لكنها تكون أصغر بالنسبة للأسس المدفونة. إن التداخل يصبح غير مؤثر عندما تكون المسافة بين الأسس السطحية ستة أمثال عرض الأساس.

المصادر

1. Al-Taee, L. N. (2006), "**Estimation of Soil Bearing Capacity For Closely Spaced Footings Using The Finite Element Method",** M. Sc. Thesis (in Arabic), Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tikrit.

2 Chen, W. F., and Baladi, G. Y. (1982), **"Soil Plasticity-Theory and Implementation"**, Elsevier Company.

3 Dawe, D. J. (1984), **"Matrix and Finite Element - Displacement Analysis of Structure",** U.S.A.

4 Graham, J., Raymond, G. P. and Suppiah, A. (1984),"**Bearing Capacity of Three Closely Spaced Footings on Sand**", Geotechnique, Vol. 34, No. 2, pp. 173-182.

5 Griffiths, D.V. (1982), **"Computation of Bearing Capacity Factors Using Finite Elements"**, Geotechnique, Vol.32, No.3, pp.195-202.

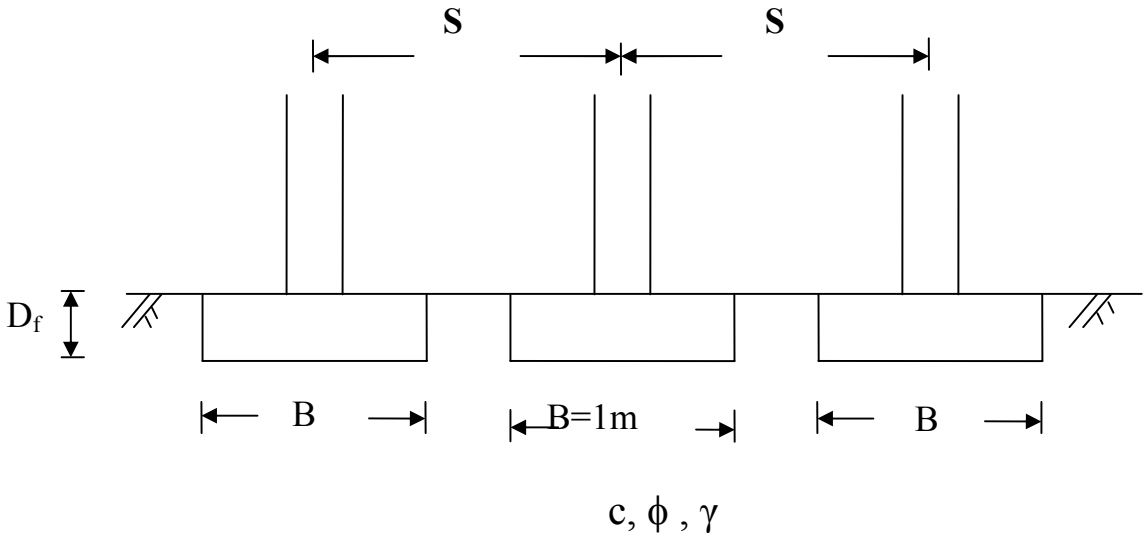
6 Hazell, E. (2004), **"Interaction of Closely Spaced Strip Footings"**, Project Report, Department of Engineering Science, Jesus College, University of Oxford.

7 Owen, D. R. J. and Hinton, E. (1980), **"Finite Element in Plasticity; Theory and Practice"**, Pine ridge Press, Swansea, U.K.

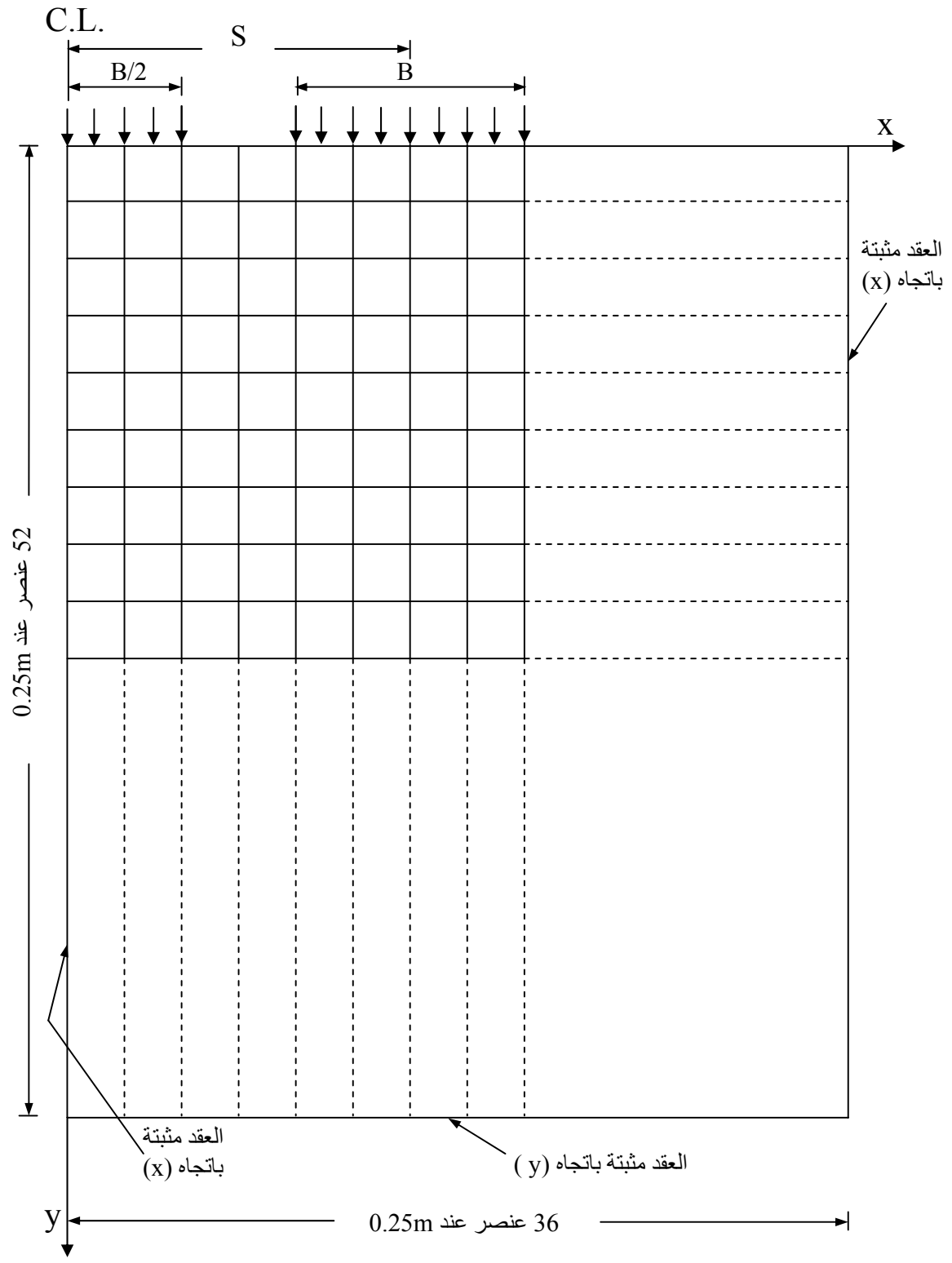
8 Smith, I. M. and Griffiths, D. V. (1998), **"Programming the Finite Element Method"**, John Wiley and Sons Ltd.

9 Zienkiewicz, O.C. and Cormeau, I. C. (1974), **"Visco-Plasticity and Creep in Elastic Soils a Unified Numerical Solution Approach",** International Journal of Numerical Methods in Engineering, Vol.8, pp.821-845.

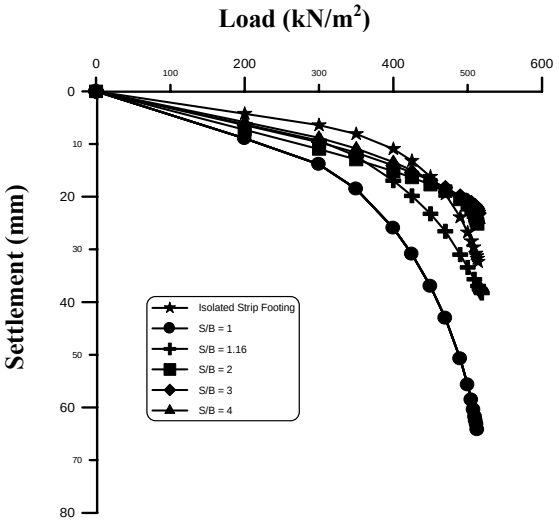
الشكل (1): مثال على الأسس الشريطية المتقاربة
عوارض السكك الحديد [Hazell (2004)]



الشكل (2): الخصائص الهندسية لمسألة الأسس الشريطية المتقاربة.



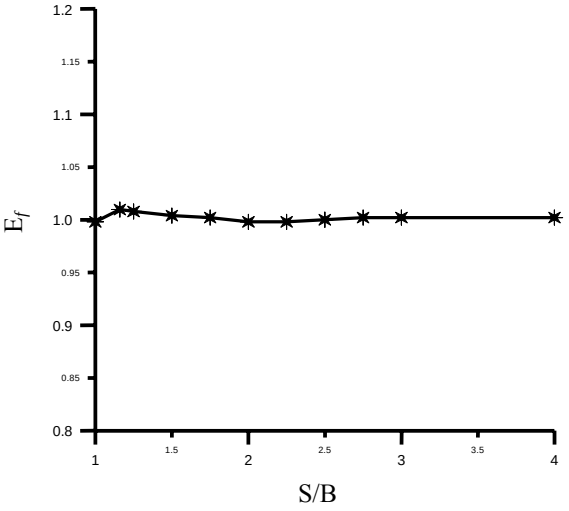
الشكل (3): شبكة العناصر المحددة المستخدمة في تحليل أسس شريطية متقاربة.



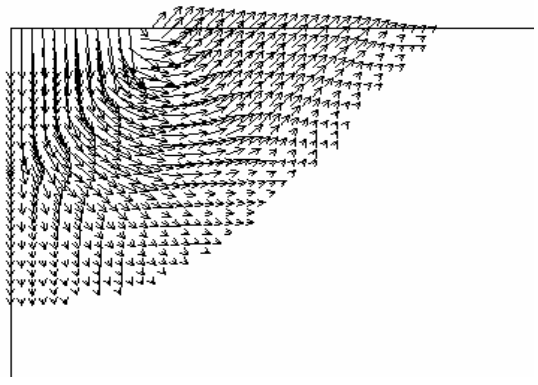
الشكل(4): منحني (الحمل- الهبوط) لأسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة طينية ولقيم مختلفة من (S/B).

الجدول () قيم خصائص التربة الطينية قيد الدرس

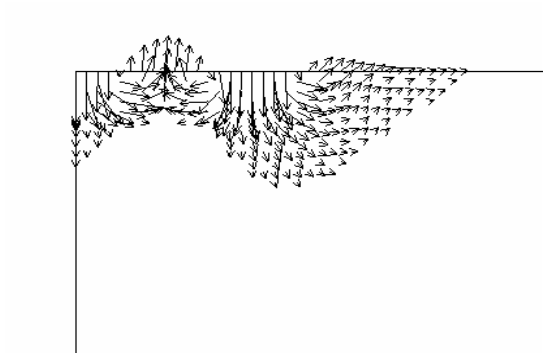
خصائص التربة	قيمها
E (kN/m^2)	100×10^3
υ	0.45
ϕ(degree)	0
c(kPa)	100
γ(kN/m^3)	19



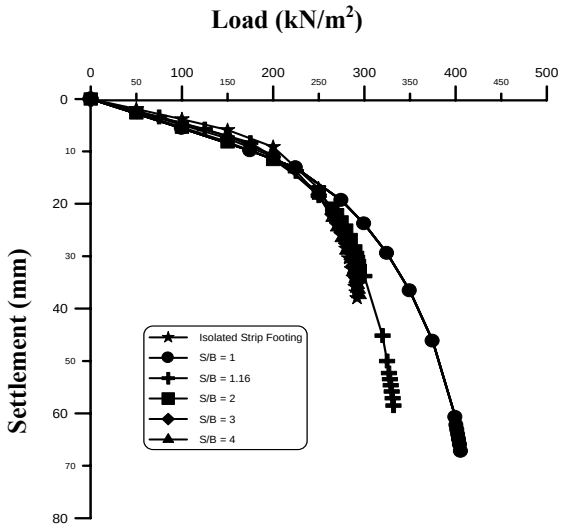
الشكل (5) تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لأسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة طينية.



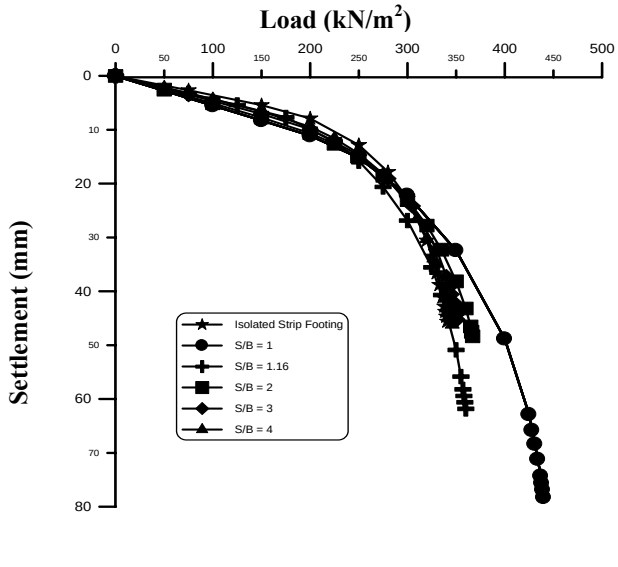
الشكل (6): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة طينية (S/B=1)



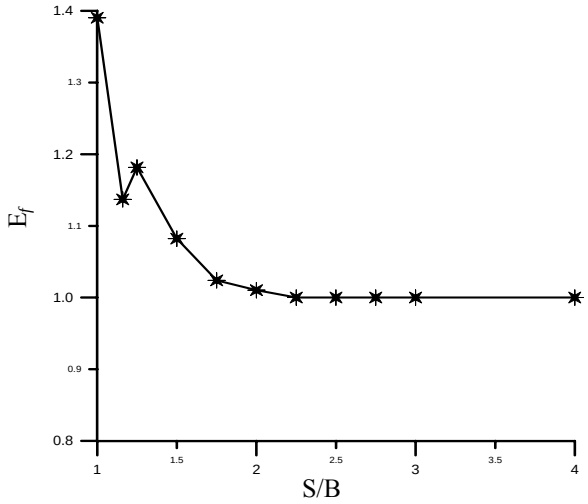
الشكل (7) حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة طينية (S/B=2)



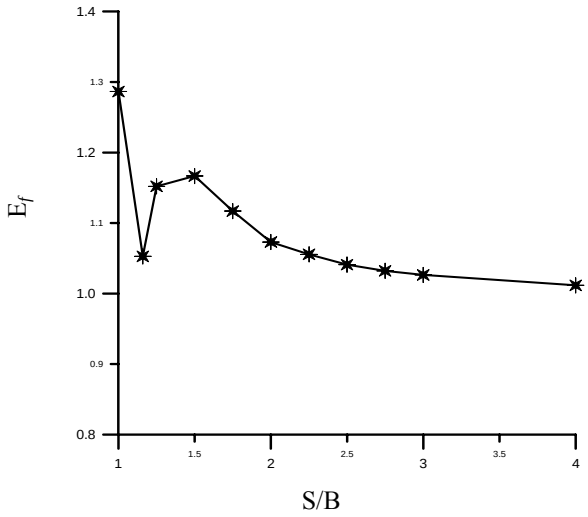
الشكل (8) منحني (الحمل- الهبوط) لأسس شريطية متقاربة(صادة) سطحية على تربة طينية ولقيم مختلفة من (S/B).



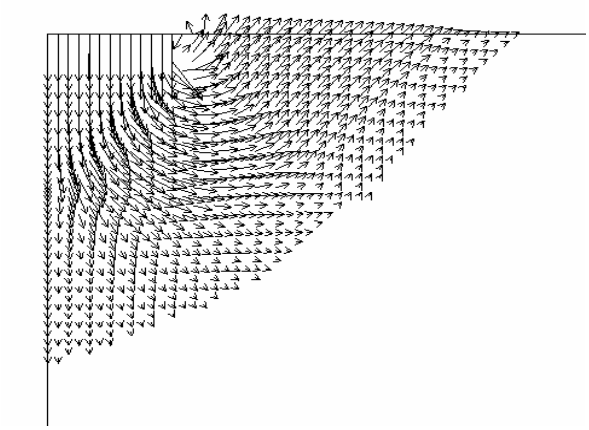
الشكل (9): منحني (الحمل- الهبوط) لأسس شريطية متقاربة (صادة) مدفونة في تربة طينية ولقيم مختلفة من (S/B).



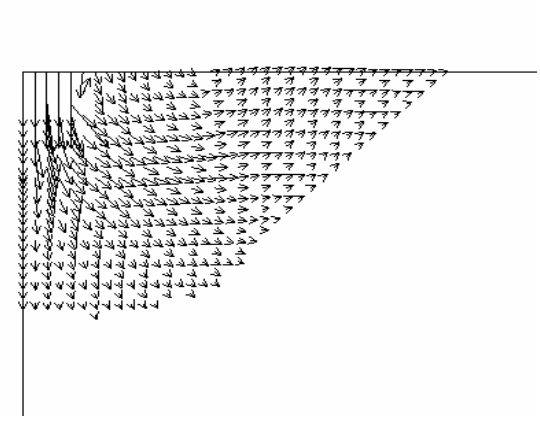
الشكل (10): تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لأسس شريطية متقاربة (صادة) سطحية على تربة طينية



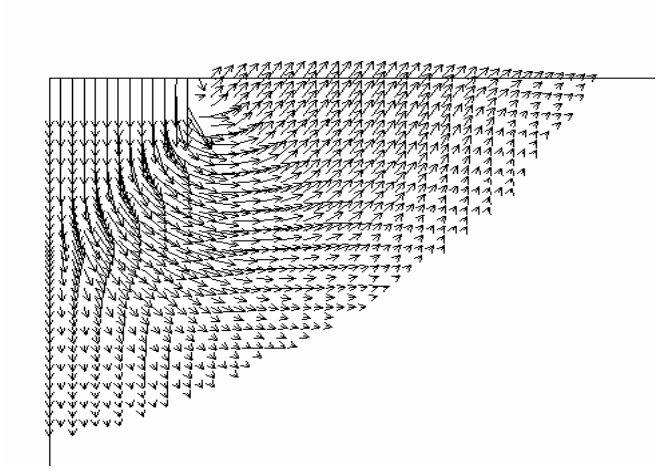
الشكل (11): تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لأسس شريطية متقاربة (صلادة) مدفونة في تربة طينية.



الشكل (12): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صلادة) سطحية على تربة طينية (S/B=1).



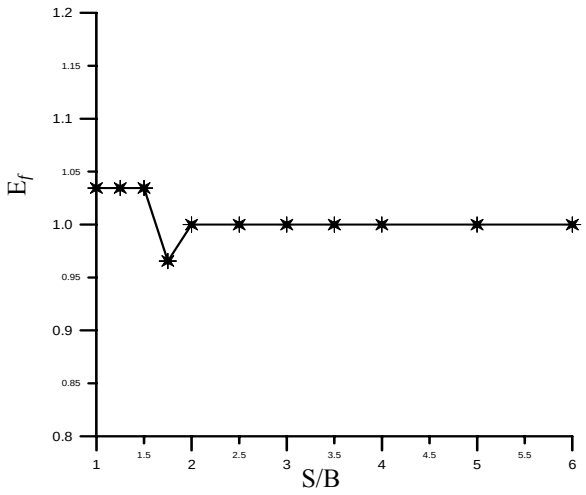
الشكل (13): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صلادة) سطحية على تربة طينية (S/B=1.25)



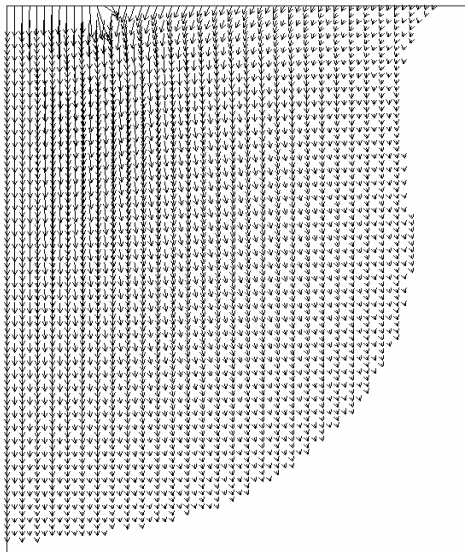
الشكل (14): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صلادة) مدفونة في تربة طينية (S/B=1)

الجدول (٢) خصائص التربة الرملية قيد الدرس

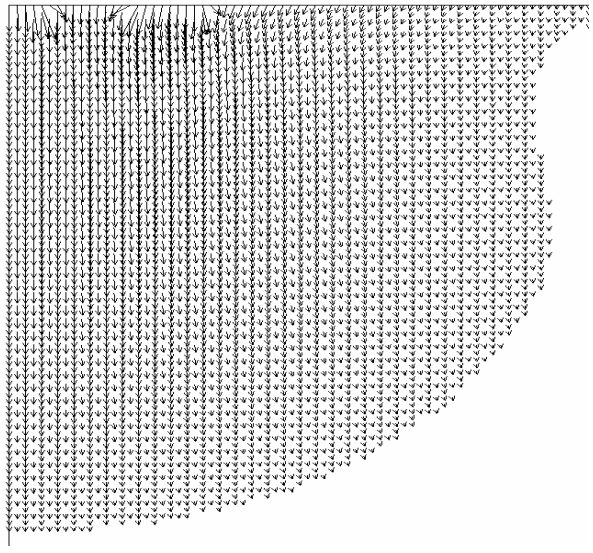
خصائص التربة	قيمها
E (kN/m^2)	100×10^3
υ	0.3
ϕ(degree)	30
c(kPa)	0
γ(kN/m^3)	17



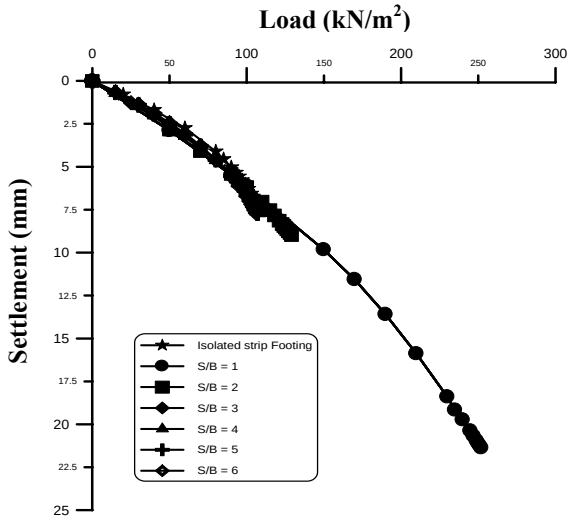
الشكل (15): تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لأسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة رملية.



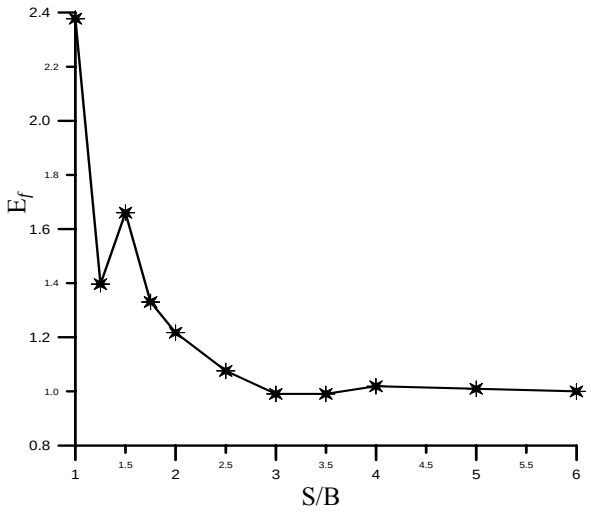
الشكل (16): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة رملية (S/B=1)



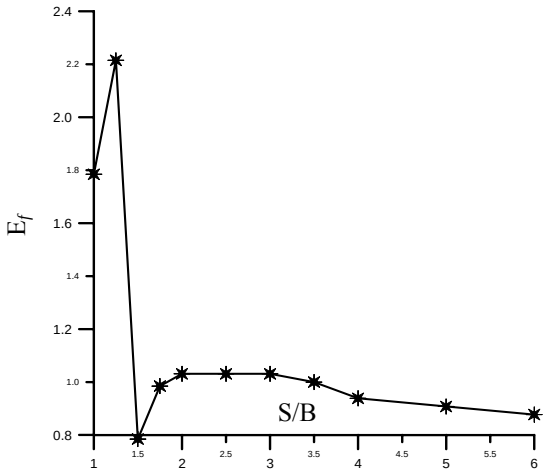
الشكل (17): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (مرنة) على تربة رملية (S/B=2.5)



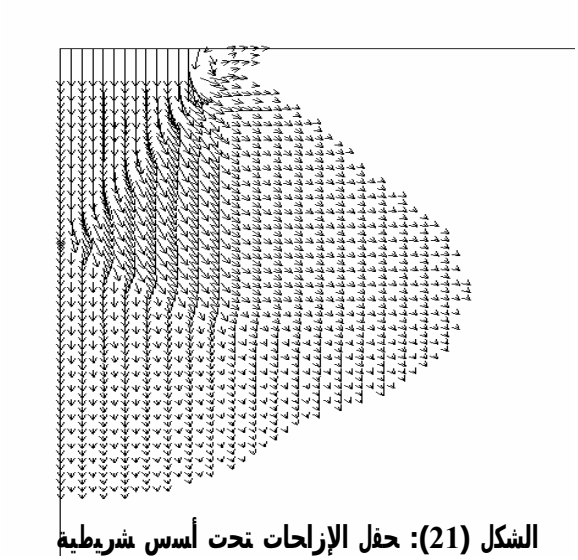
الشكل (18): منحني (الحمل-الهبوط) لأسس شريطية متقاربة (صادة) سطحية على تربة رملية ولقيم مختلفة من (S/B).



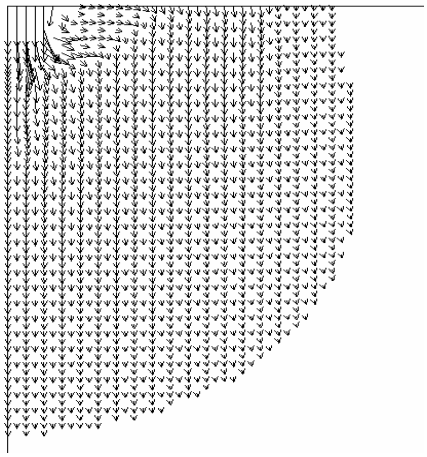
الشكل (19): تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لأسس شريطية متقاربة (صادة) سطحية على تربة رملية.



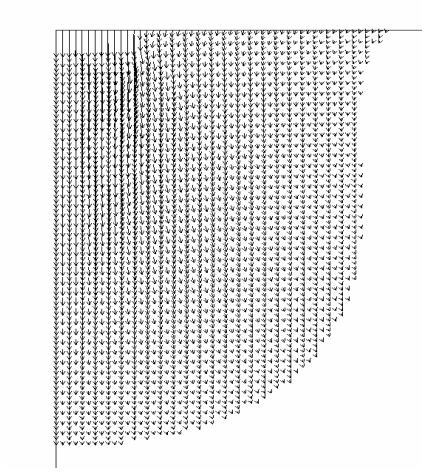
الشكل (20): تأثير تراوح النسبة (S/B) على معامل الكفاءة (E_f) لأسس شريطية متقاربة (صادة) مدفونة في تربة رملية.



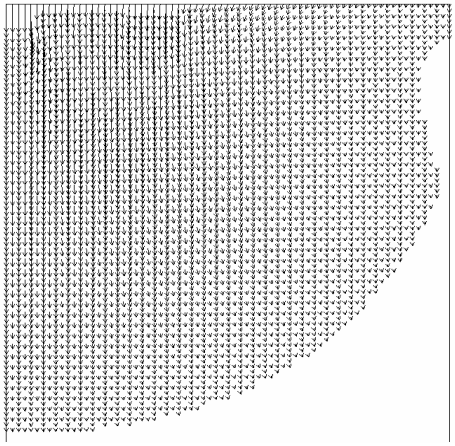
الشكل (21): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صادة) سطحية على تربة رملية (S/B=1)



الشكل (22): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صلدة) سطحية على تربة رملية (S/B=3)



الشكل (23): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صلدة) مدفونة في تربة رملية (S/B=1)



الشكل (24): حقل الإزاحات تحت أسس شريطية متقاربة (صلدة) مدفونة في تربة رملية (S/B=3)