

# دراسة تأثير بعض بارامترات طريقة العناصر المحدودة التي لا تدخل بالحساب في الطرق التحليلية للصفائح الوتدية

طالب الماجستير: رامي غزوان منلا علي

كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

الدكتور المشرف : د.م معن هلال (مشرف أساسي)

د.م ريم بوبو (مشرف مشارك)

## ملخص :

يهدف هذا البحث الى تسليط الضوء على مبادئ الطريقتين التحليلية و طريقة العناصر المحدودة في دراسة الصفائح الوتدية و تحليل أسباب الفرق في نتائج التحليل بالطريقتين ، طريقة التوازن الحدي و الطريقة العددية المتمثلة بالعناصر المحدودة.

تعتمد الدراسة على معرفة تأثير بعض البارامترات الأساسية التي تدخل في الحساب بالطريقة العددية و لا تؤخذ بعين الاعتبار عند الحل بالطريقة التحليلية من حيث درجة تأثير كل منها على عزم الانعطاف الأعظمي و القص الأعظمي المتولد في الصفيحة الوتدية والتشوه الأفقي الأعظمي ، حيث تم إجراء دراسة بارامترية لتفسير أسباب اختلاف نتائج التحليل بين الطريقتين التحليلية و العددية و تشمل دراسة تأثير عامل مرونة التربة على سلوك الصفائح الوتدية و دراسة تأثير مواصفات سطح التماس بين الصفيحة و التربة و دراسة تأثير مواصفات مقطع الصفيحة الوتدية على نتائج التحليل العددي

الكلمات المفتاحية : صفائح وتدية ، الطريقة التحليلية ، طريقة العناصر المحدودة .

## Study of the effects of some parameters in the finite element method that do not enter into calculation in the analytical methods of sheet piles

### Abstract:

This research aims to shed light on the principles of both the analytical and numerical methods used in sheet piles designing , and analyzing the causes that make difference between the both methods results .

The research depends on knowing the effects of the main parameters that is considered in the numerical method and not considered when using the analytical method , in terms of the maximum bending moment and the maximum shear force generated in the sheet piles and the maximum horizontal deflections .

A parametric study was conducted to explain the reasons for the difference between the results of the analytical and numerical methods results , and it includes studying the effect of the soil elasticity factor on the behavior of the sheet pile, studying the effect of the specifications of the interface between the plate and soil on the behavior of the sheet piles, and studying the effect of the specifications of the sheet pile section on the analysis results

**Keywords:** sheet piles, analytical method, Finite element method.

• مقدمة :

تتميز الصفائح الوتدية بالمرونة العالية بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من عناصر سند التربة كالجران الاستنادية ، حيث يحدث فيها تشوهات أكبر من الجدران الاستنادية و تعتمد في توازنها و استقرارها على دفع التربة في القسم المغروز منها (القسم السفلي) .

يمكن دراسة الصفائح الوتدية بالطريقة التحليلية التي تعتمد على حساب و رسم مخططات دفع التربة و من معادلات التوازن يتم حساب عمق الغرز اللازم للصفائح و من ثم حساب عزم الانعطاف الأعظمي و قوة القص العظمى المؤثرة على الصفيحة أو يمكن الحساب بطريقة العناصر المحدودة ، حيث تعتمد النمذجة العددية بطريقة العناصر المحدودة على تقسيم الوسط المدروس إلى أجزاء منتهية الأبعاد بحيث يمكن وصف سلوك هذه العناصر الصغيرة كل على حدة ، و من ثم استنتاج سلوك الوسط المستمر عن طريق التجميع المباشر لأجزائه بالحل العددي لجملة المعادلات التفاضلية الخاضعة للشروط الحدية و الإبتدائية المناسبة ، أي تعتمد النمذجة العددية على فكرة التحليل بالتجزئة ثم التركيب .

يوجد بعض البارامترات التي تعتبر أساسية عند النمذجة بطريقة العناصر المحدودة و التي لا يتم التطرق لها عند الحساب بالطرق التحليلية التقليدية ، لذلك تمت دراسة تأثير هذه البارامترات (مثل معامل مرونة التربة و مواصفات سطح التماس بين التربة و الصفيحة و صلابة المقطع العرضي للصفحة) بطريقة العناصر المحدودة لمعرفة درجة تأثيرها على النتائج (التمثلة بالعزوم و القوى القاصة و تشوهات الصفيحة).

و تم استخدام برنامج (plaxis) في النمذجة العددية حيث يستخدم هذا البرنامج لدراسة و تحليل تشوهات الترب و الصخور تحت تأثير الحمولات الخارجية المختلفة و يعتمد على طريقة العناصر المنتهية (المحدودة).

## 2- هدف البحث :

يهدف هذا البحث الى دراسة أهم أسباب الفروق بين الطريقة التحليلية و طريقة العناصر المحدودة في دراسة الصفائح الوتدية و معرفة تأثير بعض البارامترات الهامة التي تدخل في الحساب بالطريقة العددية و لا تؤخذ بعين الاعتبار عند الحل بالطريقة التحليلية .

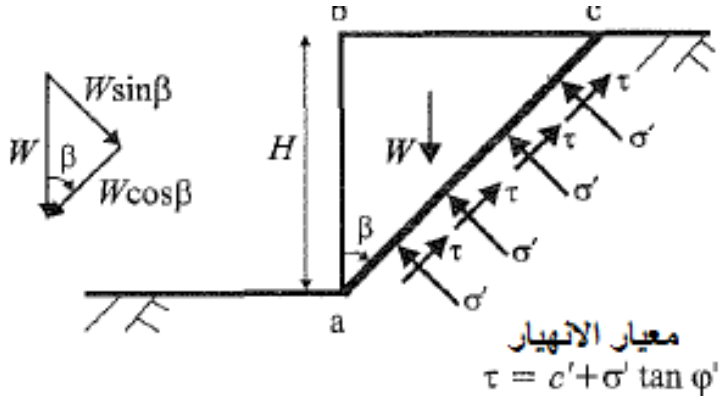
## 3 - مواد وطرق البحث :

إن هذا البحث يعتمد على طريقة النمذجة العددية بطريقة العناصر المحدودة للصفائح الوتدية و ذلك بالاعتماد على البرنامج الجيوتكنيكي المتطور (PLAXIS 2D) .

## 4- دراسة الصفائح الوتدية بالطريقة التحليلية :

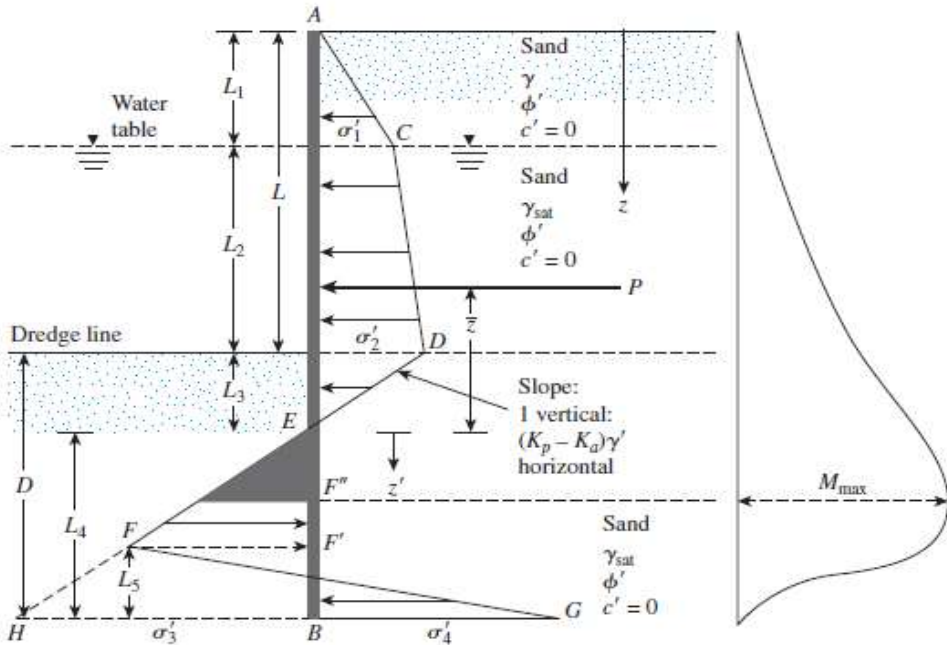
في طريقة التوازن الطرفي يتم فرض سطح انهيار للتربة الذي يحدد كتلة التربة المنهارة ، و قد يكون سطح الانهيار هذا مستقيماً أو منحنياً أو مزيجاً من الاثنين معاً ، و يدخل في الاعتبارات الحسابية فقط موشور التربة المنهار و القوى المؤثرة عليه ، و في طريقة التوازن الطرفي لا يدرس تأثير توزع الاجهادات و التشوهات داخل موشور التربة المنهار ، أي لا تدرس العلاقة بين الاجهادات و التشوهات و علاقتها بعامل مرونة التربة و عامل بواسون .

يتم بداية رسم مخطط دفع التربة الجانبي على كامل ارتفاع الصفيحة الوتدية وفق الفرضيات التي تستخدمها الطرق التحليلية و انطلاقاً من ذلك يمكن حساب كل من عزم الانعطاف الأعظمي و قوة القص العظمى التي تتعرض لها الصفيحة الوتدية .



الشكل (1) : ميكانيزم الانهيار وفق طريقة التوازن الطرقي

يأخذ مخطط دفع التربة الرملية المفككة على الصفائح الوتدية الشكل التالي :

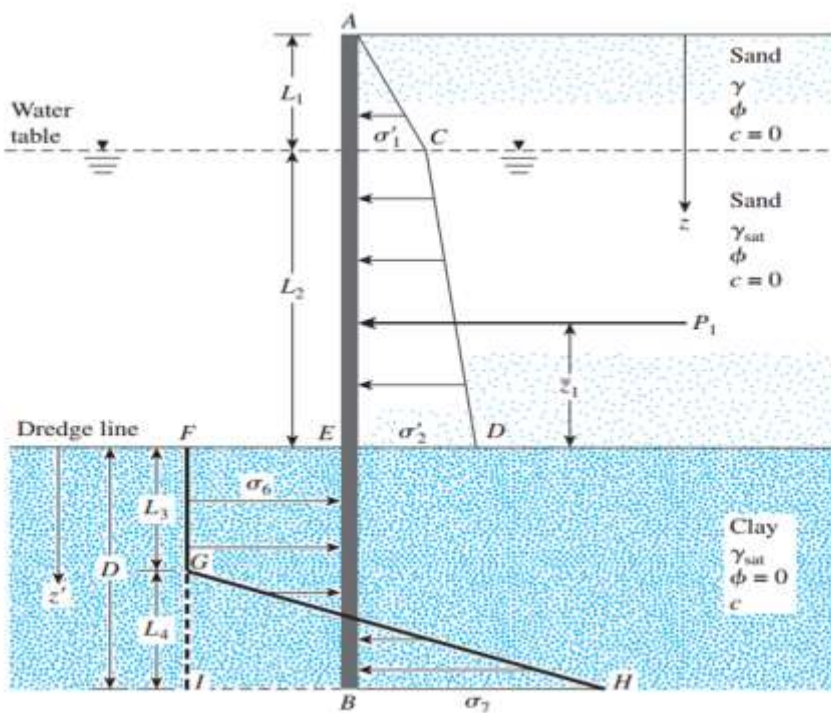


الشكل (2) : توزيع دفع التربة الجانبي على طول الصفيحة الوتدية بحالة تربة رملية مفككة وفق الطريقة التحليلية [1]

دراسة تأثير بعض بارامترات طريقة العناصر المحدودة التي لا تدخل بالحساب في الطرق التحليلية للصفائح الوتدية

حيث باستخدام معادلات التوازن الستاتيكي يمكن حساب الأبعاد اللازمة و يكون عزم الانعطاف أعظمي في النقطة التي يكون فيها القص معدوماً و يمكن تحديد تلك النقطة ببساطة

في كثير من الأحيان يتم غرز الصفيحة الوتدية في تربة غضارية متماسكة و تسند تربة رملية مفككة أو ردم حبيبي مفكك . و لتمثيل هذه الحالة و دراستها يجب رسم مخطط دفع التربة كما في الشكل التالي و يتم إجراء نفس الحسابات الواردة في حالة الصفائح المغروزة في تربة رملية .



الشكل (3) توزيع دفع التربة الجانبي على طول الصفيحة الوتدية ضمن تربة غضارية

وفق الطريقة التحليلية [1]

## 5- مبادئ طريقة العناصر المحدودة :

تعتبر طريقة العناصر المحدودة (FEM) طريقة تحليل عددية للحصول على الحلول الدقيقة لأنواع مختلفة من المشاكل الهندسية.

تعتمد طريقة العناصر المحدودة على الفكرة التالية وهي أن: أي شكل معقد يمكن تقسيمه إلى مجموعة من العناصر الصغيرة التي يسهل التعامل معها.

يمكن تلخيص طريقة العناصر المحدودة يتم باستخدام الخطوات التالية :

1- تقسيم المسألة المطلوب دراستها باستخدام طريقة العناصر المحدودة إلى عدد من العناصر المحدودة كما هو مبين في الشكل

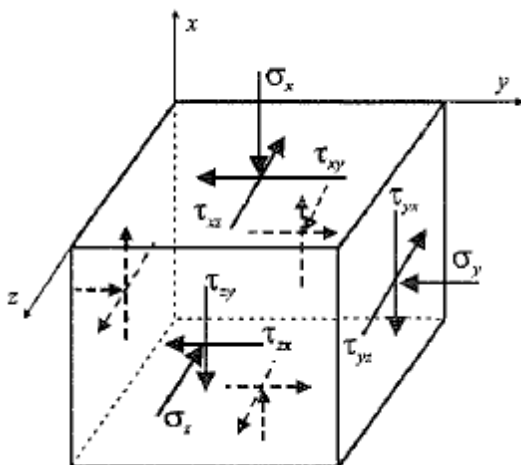
2- البدء بكل عنصر من العناصر المحدودة باستخدام شبكة الإحداثيات المحلية لكل عنصر على حدى .

3- تجميع الحلول على شبكة الإحداثيات المحلية إلى حلول على شبكة الإحداثيات العامة.

إن المعادلة التي تمثل التوازن أثناء التحليل الستاتيكي باستخدام طريقة العناصر المحدودة يمكن كتابتها بالشكل المصفوفي التالي : [2]

$$[K_G] \{\Delta d\} = \{\Delta R_G\}$$

حيث :  $[K_G]$  مصفوفة الصلابة العامة و  $\{\Delta d\}$  شعاع التشوهات لكافة العقد في شبكة النموذج الهندسي و  $\{\Delta R_G\}$  شعاع الحملات العقدية .

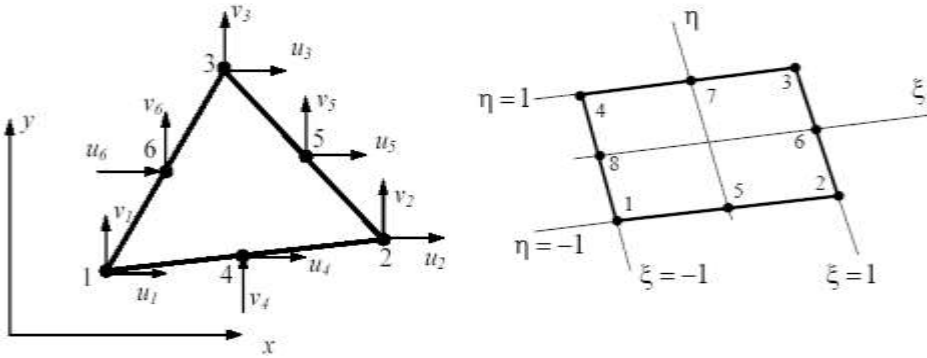


الشكل (4) : الاجهادات المؤثرة على عنصر حتمي [2]

يمكن الحصول على مصفوفة الصلابة العامة للجملة ككل من خلال تجميع مصفوفات الصلابة الفردية لجميع العناصر المحدودة وفق ترتيب معين يعتمد على أرقام العقد في شبكة العناصر المحدودة ، و بنفس الطريقة يتم حساب شعاع الحمولات العقدية  $\{\Delta R_G\}$  من خلال تجميع القوى المؤثرة في كل عقدة من عقد النموذج الهندسي

يمكن بعد ذلك استخدام المعادلة العامة حساب التشوهات في كافة الاتجاهات في كل عقدة من الشبكة ، كما أنه بعد حساب تلك التشوهات و بمعرفة عوامل مرونة التربة (يونغ) و معامل بواسون يمكن إيجاد الإجهادات الموافقة لنفس اتجاهات التشوهات المحسوبة ، كما يمكن ذلك من رسم مخططات القوى الداخلية في أي عنصر إنشائي ضمن التربة.





الشكل (5) : بعض أشكال العناصر المحدودة (ثنائية البعد)

بطريقة العناصر المحدودة يتم تمثيل العلاقات بين الاجهادات و التشوهات في مختلف الاتجاهات وفق علاقات مصفوفية ، حيث : [2]

$$\{\Delta\sigma\} = [D]\{\Delta\varepsilon\}$$

{\Delta\sigma} : شعاع الاجهادات .

[D] مصفوفة المرونة و تتعلق بعامل يونغ و عامل بواسون .

{\Delta\varepsilon} شعاع التشوهات .

$$[D] = \frac{E}{(1 + \mu)} \begin{bmatrix} (1 - \mu) & \mu & 0 \\ \mu & (1 - \mu) & 0 \\ \mu & \mu & 0 \\ 0 & 0 & (1/2 - \mu) \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

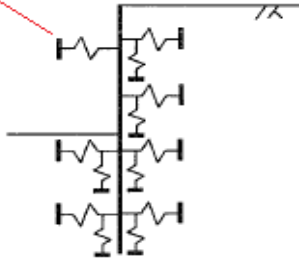
$$\{\Delta\varepsilon\} = \begin{pmatrix} \Delta\varepsilon_x \\ \Delta\varepsilon_y \\ \Delta\gamma_{xy} \end{pmatrix}$$

$$\{\Delta\sigma\} = \begin{pmatrix} \Delta\sigma_x \\ \Delta\sigma_y \\ \Delta\sigma_z \\ \Delta\tau_{xy} \\ \Delta\tau_{xz} \\ \Delta\tau_{zy} \end{pmatrix}$$

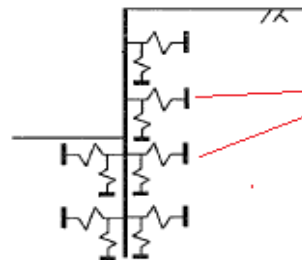
يمكن حساب التشوه الأفقي للفناح الوتدية بالطريقة التحليلية على اعتبارها جوائز شاقولية تخضع لحمولات متمثلة بمخطط دفع التربة عليها ، و ذلك بإهمال تأثير التربة المحيطة بالصفحة ، بينما في طريقة العناصر المحدودة يتم تمثيل سطح التماس بين التربة و الصفحة الوتدية بنوابض لها صلابة التربة و يتم بذلك حساب التشوهات بطريقة أدق و أكثر واقعية .

لحساب التشوه الأفقي للفناح الوتدية بالطريقة التحليلية يمكن استخدام أي طريقة من الطرق المتبعة في التحليل الإنشائي مثل طريقة كاستليانو أو طريقة الجائز المرافق أو طريقة القوة الواحدية ، و ذلك باعتبار أن الصفحة الوتدية عبارة عن جائز شاقولي .

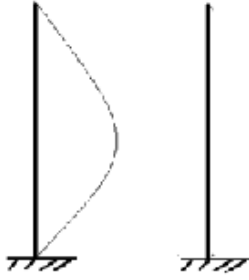
دعامة أفقية



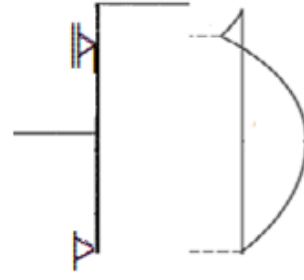
مخطط الجسم الطليق للصفحة الوتدية  
المدعمة بطريقة العناصر المحدودة



مخطط الجسم الطليق للصفحة الوتدية  
الظرفية بطريقة العناصر المحدودة



مخطط الجسم الطليق للصفحة الوتدية  
الظفرية وفق الطريقة التحليلية و شكل  
مخطط عزوم الانعطاف



مخطط الجسم الطليق للصفحة الوتدية  
المدعمة وفق الطريقة التحليلية و شكل  
مخطط عزوم الانعطاف

الشكل (6) : الاعتبارات الخاصة بكل من طريقة العناصر المحدودة و الطريقة التحليلية فيما يتعلق بمخطط الجسم الطليق للصفائح الوتدية (الظفرية و المدعمة أفقياً)

## 6- النمذجة العددية:

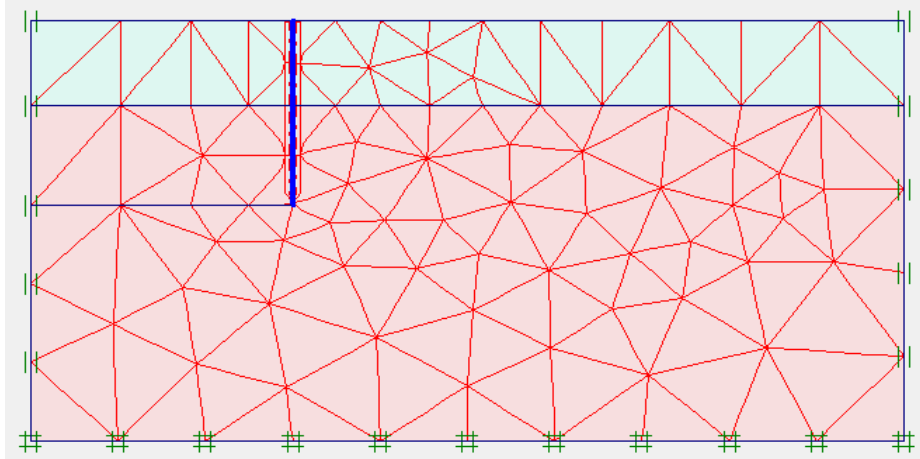
في هذا البحث تم إجراء نمذجة عددية بطريقة العناصر المحدودة لتقييم معامل أمان التربة التي تسندها الصفائح الوتدية باستخدام برنامج (Plaxis) حيث يستخدم هذا البرنامج لدراسة و تحليل تشوهات التربة و الصخور تحت تأثير الحمولات الخارجية المختلفة و يعتمد على طريقة العناصر المنتهية (المحدودة) . [3]

تمت دراسة عدة نماذج لصفائح وتدية تسند جانب حفرة بعمق (H) ، و كانت أبعاد النموذج : العرض (50m) و الارتفاع (25m).

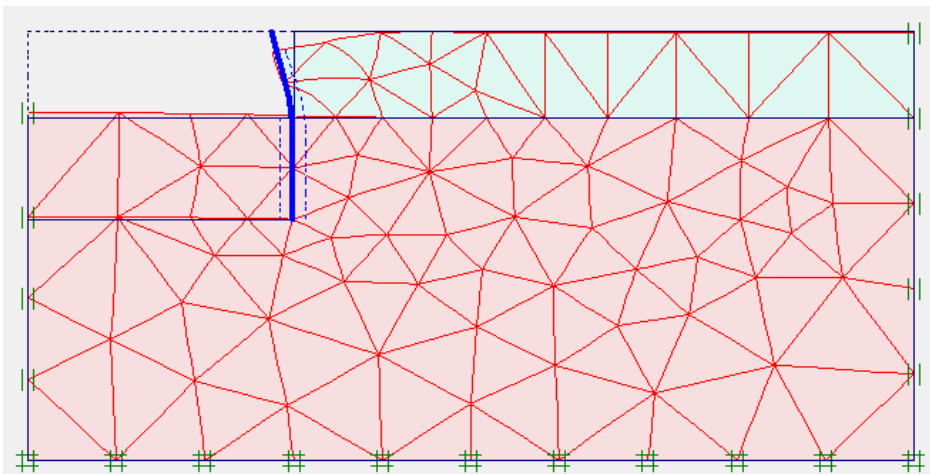
يبين الجدول التالي مواصفات مادة الصفائح الوتدية الفولاذية المستخدمة .

الجدول (1) : مواصفات مادة الصفائح الوتدية الفولاذية المستخدمة في دراسة المقارنة

EA	$2.1 \times 10^7$ KN/m
EI	17500 KN.m <sup>2</sup> /m
السمائة	0.1 m



الشكل (7) شكل شبكة العناصر المحدودة في الحالة الأولية (قبل تنفيذ الحفرة) لأحد النماذج



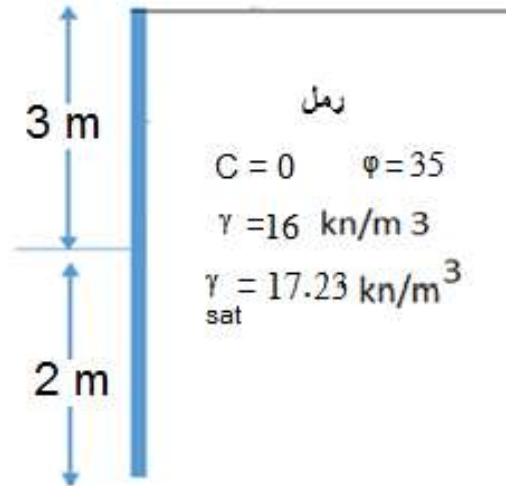
الشكل (8) شكل شبكة العناصر المحدودة المشوهة في الحالة النهائية (بعد تنفيذ الحفرة) لأحد النماذج

## 7- دراسة تأثير بعض البارامترات المؤثرة على نتائج التحليل العددي والتي لا تدخل بالحساب بالطرق التحليلية :

تمت دراسة تأثير أهم البارامترات التي تدخل بشكل أساسي في طريقة العناصر المحدودة ولكن لا يتم التطرق لها وفق الطرق التحليلية ، مثل تأثير معامل مرونة التربة و تأثير مواصفات سطح التماس بين التربة و الصفيحة الوتدية و تأثير صلابة مقطع الصفيحة الوتدية على سلوك الصفائح الوتدية ، و ذلك بهدف معرفة الأسباب الرئيسية لوجود فروق في نتائج الطريقتين .

### 7-1- تأثير معامل مرونة التربة على سلوك الصفائح الوتدية :

تمت دراسة صفيحة وتدية ظفرية في تربة رملية مفككة و بارتفاع  $(H=3m)$  و عمق غرز الصفيحة هو  $(D=2m)$  . تم تحليل النموذج بطريقة العناصر المحدودة بقيم متغيرة لعامل مرونة التربة  $(E)$  مع تثبيت كافة الأبعاد و المواصفات الأخرى المتعلقة بالتربة و الصفيحة و عمق الغرز .

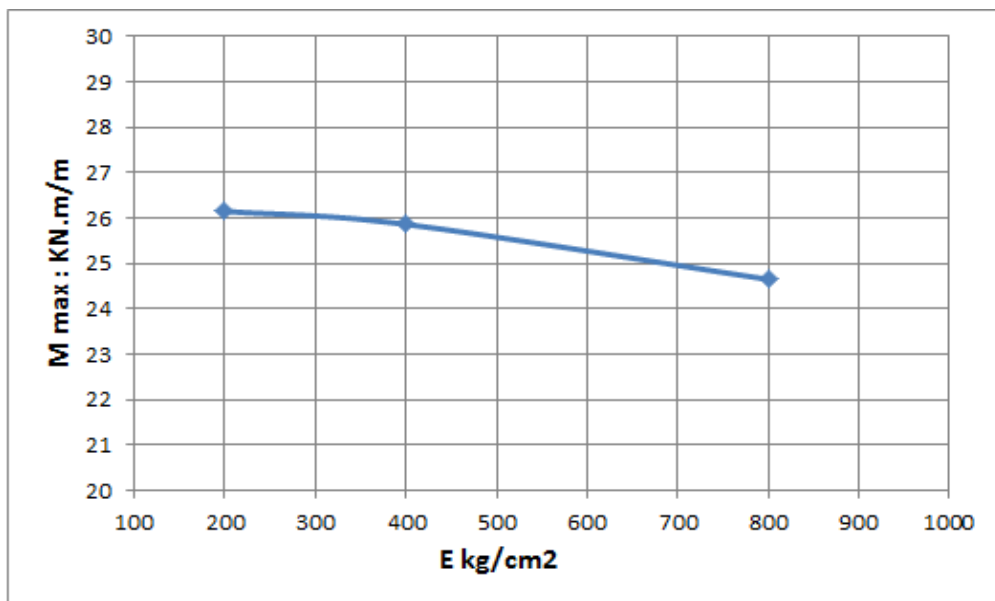


الشكل (9) النموذج المدروس لحساب تأثير معامل مرونة التربة على سلوك الصفيحة الوتدية.

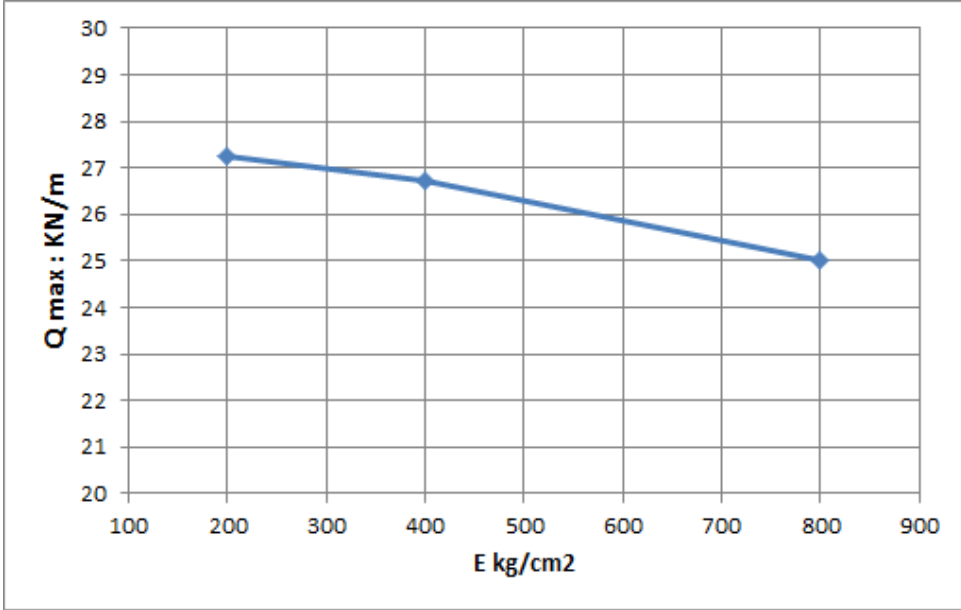
دراسة تأثير بعض بارامترات طريقة العناصر المحدودة التي لا تدخل بالحساب في الطرق التحليلية للصفائح الوتدية

الجدول (2) : قيم العزم و القص والانزياح الأفقي الأعظمي المتولد في الصفيحة الوتدية الظرفية ذات الارتفاع ( $H = 3m$ ) من أجل قيم مختلفة لعامل مرونة التربة .

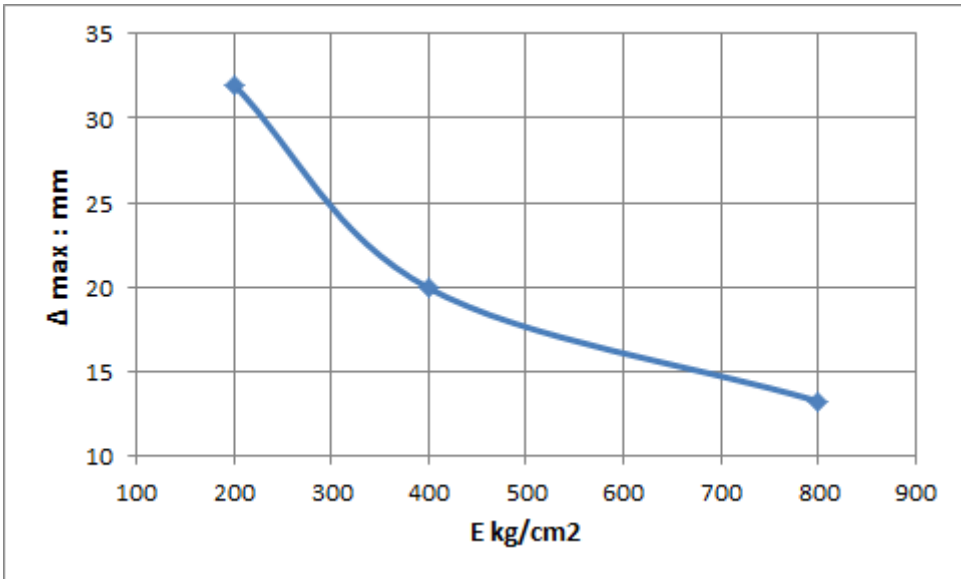
E Kg/cm <sup>2</sup>	M max KN.m/m	Q max KN/m	Δ max (mm)
200	26.15	27.26	32
400	25.86	26.74	19.95
800	24.65	25.01	13.26



الشكل (10) : تأثير تزايد عامل مرونة التربة على عزم الانعطاف الأعظمي المتولد في الصفيحة الوتدية و يظهر من الشكل أن هذا التأثير طفيف .



الشكل (11) : تأثير تزايد عامل مرونة التربة على قوة القص العظمى المتولدة في الصفيحة الوتدية و يظهر من الشكل أن هذا التأثير طفيف .



الشكل (12) تأثير تزايد عامل مرونة التربة على الانزياح الأفقي الأعظمي للصفيحة الوتدية و يظهر من الشكل أن هذا التأثير مهم .

نلاحظ وجود تأثير ضئيل لمعامل مرونة التربة على القوى الداخلية في الصفيحة الوتدية حيث أن ازدياد قيمة معامل المرونة من (  $200\text{kg/cm}^2$  ) الى (  $800\text{kg/cm}^2$  ) أدت الى تناقص قيمة عزم الانعطاف الأعظمي المؤثر على الصفيحة بمقدار 6 % وتناقصت قيمة قوة القص العظمي المؤثرة بمقدار 8 % ، ولكن كان تأثير تزايد معامل مرونة التربة كبيراً على التشوهات الأفقية للصفيحة حيث تناقص التشوه الأفقي الأعظمي بمقدار (58%) .

## 2-7 تأثير مواصفات سطح التماس بين التربة و الصفيحة الوتدية :

يستخدم نموذج التربة المرن اللدن ليصف سلوك سطح التماس لنمذجة العلاقة التبادلية بين التربة و العنصر الإنشائي و يستخدم قانون مور كولومب لتمييز السلوك المرن. و إن إجهاد القص يعطى بالعلاقة التالية :

$$\tau < \sigma n . \tan \varphi i + c i$$

تم ربط خواص المتانة لسطح التماس بخواص طبقة التربة المحيطة بسطح التماس ، حيث يوجد لكل طبقة تربة في المقطع الجيوتكنيكي عامل مرافق لتخفيض المتانة عند سطح التماس ( $R inter$ ) و تحسب خواص سطح التماس بمعرفة خواص التربة المرافقة ، حيث :  $C i = R inter . C soil$

$\tan \varphi i = R inter \times \tan(\varphi soil)$  ، و تتراوح قيمة معامل تخفيض مقاومة سطح التماس  $R inter$  بين (0) و (1) و في حال غياب المعلومات التفصيلية يؤخذ بشكل مقبول ( $2/3$ ) لسطح (رمل-فولاذ) و (0.5) لسطح (غضار - فولاذ) .

من أجل دراسة تأثير مقاومة سطح التماس على سلوك الصفائح الوتدية ، قمنا بإجراء دراسة بارامترية على نفس النموذج هندسي المدروس في الفقرة السابقة لصفحة مغروزة في تربة رملية ، قمنا بتغيير قيمة عامل تخفيض مقاومة سطح التماس مع تثبيت كافة الأبعاد و المواصفات و البارامترات الأخرى للنموذج المدروس ، و حصلنا على نتائج

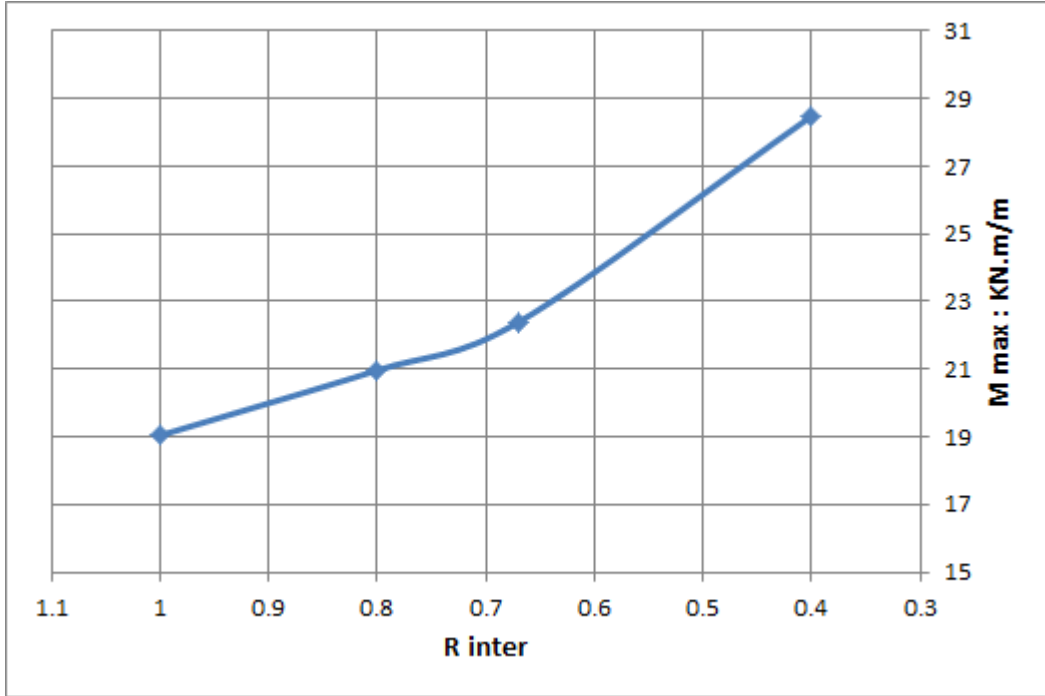


تمثل تأثير قيمة عامل تخفيض مقاومة سطح التماس على كل من عزم الانعطاف الأعظمي و قوة القص العظمى المؤثرة في الصفيحة.

و قد حصلنا على النتائج المبينة في الجدول التالي :

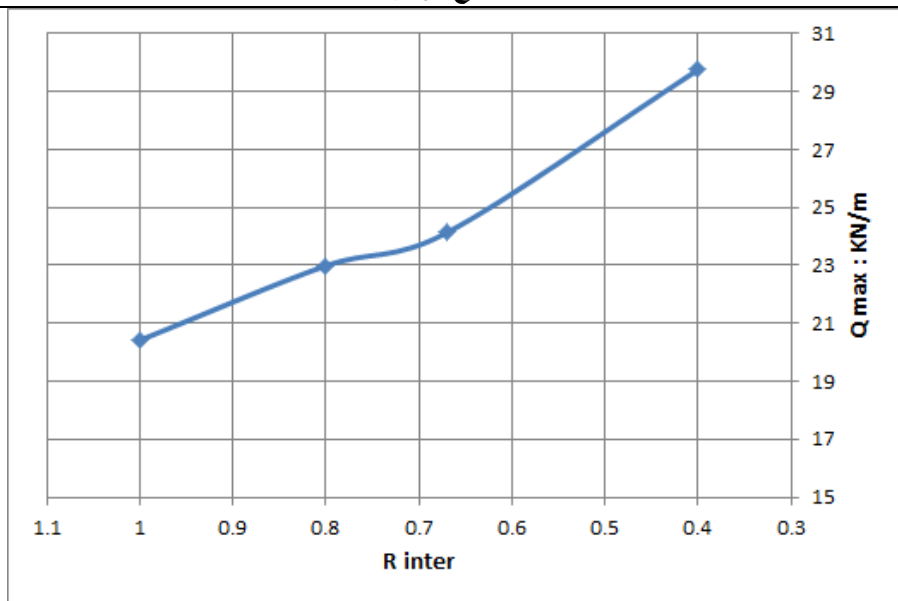
الجدول (3) : دراسة تأثير مواصفات سطح التماس على نتائج التصميم.

R inter	M max KN.m/m	Q max KN/m	$\Delta$ max (mm)
1	19.04	20.42	7.1
0.8	20.97	22.99	8.53
0.67	22.39	24.13	9.8
0.4	28.48	29.75	15.98

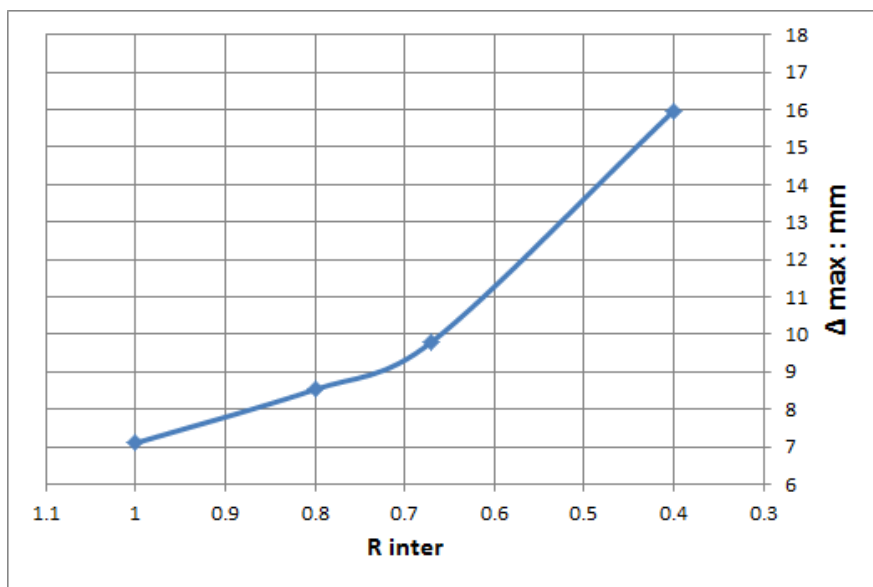


الشكل (13) تأثير عامل تخفيض مقاومة سطح التماس على عزم الانعطاف الأعظمي المتولد في الصفيحة

دراسة تأثير بعض بارامترات طريقة العناصر المحدودة التي لا تدخل بالحساب في الطرق التحليلية للصفائح الوتدية



الشكل (14) تأثير عامل تخفيض مقاومة سطح التماس على قوة القص العظمى المتولدة في الصفيحة الوتدية



الشكل (15) تأثير عامل تخفيض مقاومة سطح التماس على الانزياح الأفقي الأعظمي للصفحة الوتدية

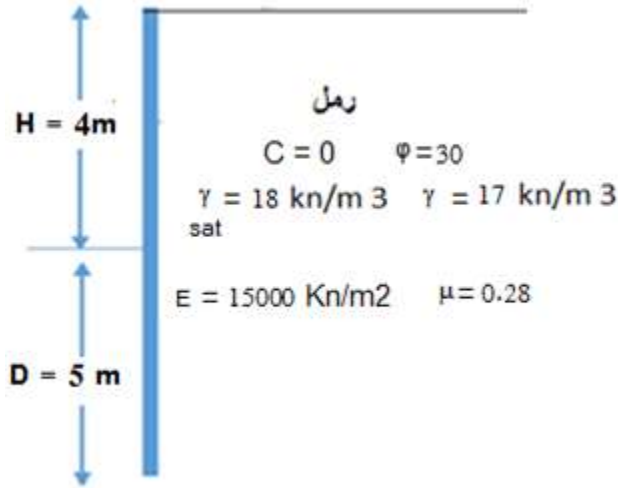
لوحظ وجود تأثير مهم لنسبة مقاومة سطح التماس على نتائج التحليل ، حيث أدى تناقص نسبة مقاومة سطح التماس من 1 الى 0.4 الى تزايد قيمة عزم الانعطاف الأعظمي المؤثر على الصفيحة الوتدية بنسبة %49 و تزايد قوة القص المؤثر على الصفيحة بنسبة %45 كما تضاعف التشوه الأفقي الأعظمي .

### 3-7 تأثير صلابة مقطع الصفيحة الوتدية :

لا شك أن الصلابة الانعطافية (  $EI$  ) لمقطع الصفيحة يلعب دور مهم في دراسة الصفائح الوتدية ، و هو من أهم المدخلات في مسائل التصميم بطريقة العناصر المحدودة ، لكن تفتقد طريقة التوازن الحدي لأي علاقة تربط قيمة صلابة مقطع الصفيحة على كل من العزم و القص الذي ينشأ في الصفيحة الوتدية ، تم إجراء دراسة بارامترية لمعرفة نسبة تأثير صلابة مقطع الصفيحة على كل من العزم الأعظمي و قوة القص العظمي و التشوه الأفقي الذي ستعرض له الصفيحة عن طريق اختيار مقطعين عرضيين نموذجيين مختلفين أحدهما ذو صلابة انعطافية (  $EI$  ) أكبر بأربع مرات تقريباً من الآخر و من ثم اجراء التحليل العددي و مقارنة النتائج .

يبين الشكل التالي النموذج المدروس و يوضح الجدول التالي مواصفات المقطعين المدروسين لنفس النموذج و القيم الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج (  $PLAXIS$  ) .

دراسة تأثير بعض بارامترات طريقة العناصر المحدودة التي لا تدخل بالحساب في الطرق التحليلية للصفائح الوتدية



الشكل (16) النموذج المدروس لحساب تأثير مواصفات مقطع الصفيحة الوتدية على نتائج التصميم

الجدول (4) دراسة تأثير تغيير صلابة مقطع الصفيحة الوتدية على نتائج التحليل

المقطع	$EI$ ( $\text{KN.m}^2/\text{m}$ )	$M_{\text{max}}$ $\text{KN.m /m}$	$Q_{\text{max}}$ $\text{KN /m}$	$U_x \text{ max}$ $\text{Mm}$
PZ 22	24150	64.4	28.66	52.88
PZ 35	103530	63.5	26.16	20.11

من الملاحظ أن الصلابة الانعطافية ( $EI$ ) لمقطع الصفيحة تؤثر بشكل مهم جداً على التشوه الأفقي للصفيحة ، حيث أن اختيار مقطع عرضي ذو صلابة انعطافية ( $EI$ ) أكبر بأربع مرات تقريباً أدى الى تناقص التشوه الأفقي الأعظمي للصفيحة الوتدية بمقدار 62% ، إلا أن تأثير الصلابة الانعطافية ( $EI$ ) على كل من عزوم الانعطاف والقوى الفاصلة في الصفيحة كان ضئيل ، حيث كما تناقص كل من عزم الانعطاف الأعظمي و قوة القص العظمي المتولدة بالصفيحة بنسبة 2-8% فقط عند اختيار مقطع عرضي ذو صلابة انعطافية ( $EI$ ) أكبر بأربع مرات .

## 8- النتائج و المناقشة :

1- يوجد تأثير بالغ الأهمية لمقاومة سطح التماس على كل من عزم الانعطاف و قوة القص العظمى المؤثرة في الصفيحة الوتدية حيث أدى تناقص نسبة مقاومة سطح التماس من 1 الى 0.4 الى تزايد قيمة عزم الانعطاف الأعظمي المؤثر على الصفيحة الوتدية بنسبة 49% و تزايد قوة القص المؤثر على الصفيحة بنسبة 45%

2- تبين من خلال الدراسة البارامترية أن تأثير معامل مرونة التربة كان كبيراً على التشوهات الأفقية للصفيحة إذ أدى ازدياد معامل المرونة من  $(200\text{kg/cm}^2)$  الى  $(800\text{ kg/cm}^2)$  الى تناقص التشوه الأفقي الأعظمي للصفائح بمقدار (58%).

كما أنه من الملاحظ أن الصلابة الانعطافية ( $EI$ ) لمقطع الصفيحة تؤثر بشكل مهم على التشوه الأفقي للصفيحة ، حيث أن اختيار مقطع عرضي ذو صلابة انعطافية ( $EI$ ) أكبر بأربع مرات تقريباً أدى الى تناقص التشوه الأفقي الأعظمي للصفيحة الوتدية بمقدار (62%) ، إلا أن تأثير الصلابة الانعطافية ( $EI$ ) على كل من عزم الانعطاف والقوى القاصة في الصفيحة كان ضئيلاً .

## 9- التوصيات :

- إدخال تأثير معامل مرونة التربة و مقطع الصفيحة الوتدية على طريقة التوازن الحدي (المتبعة في الطرق التحليلية) لزيادة دقتها حيث تبين من خلال الدراسة البارامترية بطريقة العناصر المحدودة أن تأثير معامل مرونة التربة كان كبيراً على التشوهات الأفقية للصفحة .
- في حال استخدام الطرق التحليلية في تصميم الصفائح الوتدية ينصح باستخدام نظرية مور كولومب في دفع التربة الجانبي كونها أقرب للواقع و أكثر دقة كما أنها اقتصادية أكثر بالمقارنة مع نظرية رانكين التي تهمل الاحتكاك بين سطح الصفيحة الوتدية و التربة حيث تبين من خلال الدراسة البارامترية بطريقة العناصر المحدودة أن مقاومة سطح التماس تؤثر بشكل كبير على نتائج التصميم الأساسية (عزم الانعطاف الأعظمي و قوة القص العظمي و التشوه الأفقي الأعظمي للصفحة الوتدية) .
- إجراء الكثير من التجارب الحقلية و تجارب التحميل على الصفائح الوتدية المنفذة في الواقع و مراقبة القياسات بدقة باستخدام تجهيزات الكترونية مثلاً لفهم سلوكها بشكل معمق .

[1] Das, Braja M. 2010. **Principles of Geotechnical Engineering**. 7th. Stamford CT : CENGAGE Learning. p. 683.

[2] Potts , David M .Zdravkovic , Lidija.1999. **Finite element analysis in geotechnical engineering** , London , Telford Thomas Ltd .p.440 .

[3] شبيب ، د. رندا ، (2004) ، **الدليل المرجعي لبرنامج بلاكسيز لتحليل التربة و المنشآت الجيوتكنيكية.**

دار دمشق للطباعة و النشر و التوزيع ، الطبعة الأولى ، الصفحات 421 .

