

## دراسة مسألة الدفع الجانبي للتربة المفككة على الجدران الاستنادية بمسألة طريقة العناصر المحددة

الدكتور منذر عمران \*

(قبل للنشر في 2003/1/27)

### □ الملخص □

تعتبر طريقة العناصر المحددة من الطرق المفيدة في حل المسائل الجيوتهكنيكية المعقدة كما أنها من الطرق التي لاتزال تشهد انتشارا واسعا لارتباطها المباشر بالحاسوب ولقدرتها على حساب الاجهادات والتشوهات بشكل دقيق في مختلف نقاط المنشأة المدروسة.

إن مسألة الدفع الجانبي للتربة المفككة على الجدران الاستنادية بالعلاقة مع احتكاك الجدار بالتربة ومع قيم وأشكال انزياح ودوران الجدار هي مسألة لم تحل بعد بشكل كامل وقد تم في هذا البحث دراسة الدفع على الجدران الاستنادية في حالات مختلفة من الدوران والانزياح كما درست الحالات الاجهادية والسلوك التشوهي بالارتباط مع الشروط الطرفية وتم اختيار قانون مناسب للمادة يعبر عن العلاقة بين الاجهادات والتشوهات.

ومن اجل الحل جرى تصميم برنامج حسابي واستخرجت قوانين المادة من تجارب الثلاثي المحاور واختير قانون المادة الذي يعطي القيم الأقرب لنتائج القياس على الموديل المجرب وجرى تقسيم النموذج الى شبكة مناسبة من العناصر المحددة تراعي الشروط الطرفية.

بينت النتائج أن الدفع الجانبي الفعال يحدث في حالة الانزياح المتوازي عند انزياح مقداره  $0,002H$  (حيث  $H$  ارتفاع الجدار) وعند انزياح مقداره  $0,004H$  في حالة دوران الجدار حول قاعدته وعند انزياح مقداره  $0,005H$  لحالة الدوران حول الراس مهما كانت قيمة زاوية احتكاك التربة بالجدار .

كما اظهرت النتائج تطابقا مقبولا مع القيمة النظرية لحالة الدفع اثناء السكون وكذلك تطابقا مقبولا نسبيا لمسارات الاجهاد التابعة للتجارب والقيم المحسوبة لاجل الحالات المحسوبة.

تبين النتائج أن سطح الانزلاق الناتج في جميع الحالات هو غير خطي وهذا ما يخالف تقريبا كولومب وقد تم التوصل إلى صيغ تقريبية لحساب الدفع الجانبي على الجدران الاستنادية وفقا لحالة انزياحها.

\* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتهكنيكية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا.

## A Study of Soil Lateral Pressure on Retaining Walls Using the Method of Finite Elements

Dr. Monzer Omran\*

(Accepted 27/1/2003)

### □ ABSTRACT □

The method of finite elements is useful in solving complex geo-technique problems. It is still widely used because of its dependence on computer and its ability to calculate accurate stress and deformation in all points of the structure.

Lateral pressure of soil on retaining walls together with the friction of wall with soil as well as the values and forms of displacement and rotation of wall, is as yet an unsolved problem. In this paper we study the pressure of soil on the retaining wall in different cases of displacement and rotation as well as the stress cases and deformation act in relation with end condition, by selecting a suitable law express the relation between stress and deformation.

For the solution we have designed a calculation program to find out the law of substance from the experiments of three axes. Then we selected the substance law which gives the nearest values to the results of measurement on tested model which has been divided to a suitable net of finite elements in accordance with the end conditions.

The results show that the active Lateral pressure happens in the case of parallel displacement at a value of displacement that equals  $0,002H$  (where  $H$  is the height of wall), and at a displacement that equals  $0,004H$  in the case of wall rotation about its base, and at a displacement that equals  $0,005H$  in the case of rotation about the head for all values of friction angle of soil with the wall.

Moreover the results showed an accepted identity with the theoretical value of pressure in static case and accepted identity of the paths of stresses from experiments and calculated values of cases.

Finally the results show the resulted sliding surface in all cases is non linear and this disagrees with the Colomb Approximation, in the end, we have achieved an approximating forms for calculating the Lateral pressure on retaining walls in accordance with the case of displacement.

---

\*Assistant Prof. In Faculty of Civil Engineering, Tishreen University-Lattakia-Syria.

## مقدمة :

إن الشرط الأساسي لإجراء دراسة اقتصادية وأمنية ولإيجاد الحلول الواقعية للمسائل الهندسية المطروحة وبشكل خاص منها تلك المتعلقة بالمنشآت التي هي بتماس مع التربة يتطلب:

1. الفهم الدقيق المسألة المطروحة وشروطها الطرفية.
  2. الفهم الواقعي قدر الامكان للعلاقة المتبادلة بين التربة والمنشأة التي هي على تماس معها.
  3. دراسة السلوك الانفعالي للتربة أي سلوكها التشوهي تحت تأثير الاجهادات المطبقة عليها من قبل المنشأة المرتكزة عليها.
  4. معرفة قيم الاجهادات والتشوهات في جميع أجزاء المنشأة.
- تعتبر طريقة العناصر المحددة طريقة مفيدة جدا لحل المسائل الجيوتهكنيكية ولاسيما مسائل الدفع الجانبي للتربة على الجدران الاستنادية [4].

يتلخص هدف البحث في دراسة سلوك كتلة التربة ودراسة الحالات المختلفة للدفع الجانبي للتربة واستنباط طرق مبسطة مستنتجة من نتائج التحليل بواسطة طريقة العناصر المحددة ومعتمدة بشكل حاسم على دراسة السلوك التشوهي والحالات الاجهادية وتقديم اقتراحات لتطوير البحث مستقبلا.

إضافة إلى الشروط الطرفية تم بالحسبان تأثير مسالة التماس والاحتكاك بين الجدار والتربة خلفه وتأثير تقريب نيوتن رافسون على نتائج الحساب وتأثير الحملات المختلفة.

## اتجاه البحث:

إن الطرق المستخدمة في مجال الجيوتهكنيك لا تزال تعتمد في جزء منها على اعتبارات تقريبية ولا تزال بعض هذه الطرق تعتمد على مفاهيم المرونة الخطية وقانون هوك أو على مفاهيم تقريبية كاعتبار التربة مثلا جسما صلبا وتطبيق نظريات لدونة الجسم الصلب عند دراسة مسائل الانهيار في التربة وعند تجاوزها مرحلة المرونة [1]. إن مثل هذه الاعتبارات هي موضع تساؤل لأنها لا تعبر عن السلوك الحقيقي للتربة لان أي دراسة يجب أن تراعي الشروط الطرفية لأنها هي فقط تساعدنا في دراسة المنشأة ودراسة سلوكها بشكل صحيح ويقدر ما تكون الافتراضات للشروط الطرفية الحقيقية قريبة من الحقيقة بقدر ما تكون نتائج الحساب بالعناصر المحددة مرضية وجيدة.

في هذا البحث تمت دراسة الحالات التالية بوساطة العناصر المحددة:

1. دراسة مسالة الدفع الجانبي من اجل: (الدوران حول الرأس- الدوران حول القاعدة - الانزياح المتوازي - حفرة تاسيس مدعمة من وسطها - جدار صلب غير قابل للحركة).
2. دراسة الحالات الاجهادية والسلوك التشوهي للحالات السابقة.
3. دراسة حقول التشوه ومناطق الانهيار المحتملة.
4. تأثير حالات مختلفة للتحميل على سلوك التشوه وإيجاد طرق تقريبية للحساب.

ومن اجل الحساب بطريقة العناصر المحددة جرى التفكير ضمن المسار التالي:

- اختيار قانون مادة مناسب للتربة يعبر عن العلاقة بين الإجهاد والتشوه

- إجراء تجارب مخبرية لتحديد متحولات المادة بحسب قانون المادة المقترح للتربة المدروسة وهي هنا التربة المفككة.
  - إجراء محاكاة حاسوبية لتجربة القص الثلاثي المحاور بطريقة العناصر المحددة لمعايرة خصائص المادة والتحقق من إمكانية قانون المادة المستخدم على التوصيف المقبول لسلوك المادة وذلك لمقارنة النتائج العددية مع النتائج المخبرية للحصول على متحولات قانون المادة التي سيتم استخدامها في النماذج الحسابية المفترضة للدراسة
  - الاستفادة من نتائج التجارب المخبرية على موديلات تجريبية تخص المسألة المدروسة.
  - حل المسألة بواسطة طريقة العناصر المحددة مع اعتبار المواد نفسها التي تستعمل في الموديل المخبري.
  - مقارنة النتائج وتقديم الاقتراحات.
- ولهذه الغاية تم العمل على وضع برنامج حاسوبي جرى تصميمه ضمن بيئة فيجوال باسيك بحيث يمكن من حل المشكلة المطروحة بطريقة العناصر المحددة.

## موديل الحساب والمسألة المطروحة:

- تتلخص المشكلة المطروحة في دراسة مسألة الدفع الجانبي على الجدران الاستنادية للحالات المختلفة التي ذكرت أعلاه وفق الشروط التالية :
- التربة هي تربة مفككة.
  - سطح التربة أفقي.  $(b = 0)$ ، الجدار شاقولي  $(a = 0)$
  - زاوية الاحتكاك بين التربة والجدار  $d$  هي  $0$  عندما يكون سطحه املسا و  $(0,8 f)$  عند كون الجدار خشن السطح وجميع الحالات الاخرى بين هاتين القيمتين.
  - الجدار صلب او قابل للتشوه المرن
- ومن اجل تقديم حلول للمسائل المطروحة تم استخدام البرنامج المصمم من قبلنا الذي يطبق طريقة العناصر المحددة والتي تقترض بدورها أن المنشأ المدروس والوسط المحيط به قابلان للتجزئة إلى عناصر مرتبطة ببعضها البعض بعدد نهائي من العقد ويفترض أن الاجهادات المؤثرة على حواف العنصر تطبق اجهادات في عقد الاتصال بين العناصر المتجاورة.

بمساعدة مبدا التشوه الوهمي وبمساواة العمل الداخلي مع العمل الخارجي يمكن كتابة العلاقة الاساسية في العناصر المحددة بين قوى العقد والتشوهات المجهولة [3] فمن اجل الشبكة ككل :

$$[K] \cdot [d] = [R]$$

حيث:

$[K]$ : مصفوفة قساوة الجملة وتنتج من الجمع المصفوفي لمصفوفات قساوات جميع العناصر في الشبكة:

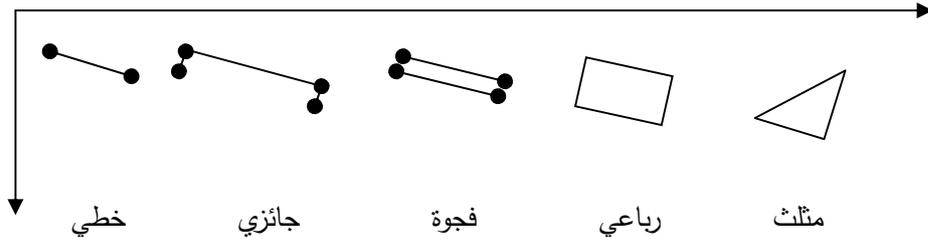
$$[K] = S [K]^e$$

$[d]$ : شعاع انزياحات او انتقالات العقد.

$[R]$ : شعاع قوى العقد.

وعند تشكيل مصفوفة كل عنصر روعيت الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذا العنصر وعبر عنها بقانون المادة وحتى تبقى الخطوط الفاصلة بين العناصر المتجاورة في تماس مع بعضها البعض تحت الاجهادات والتشوهات فقد تم اعتبار مايدعى شروط التحمل وحقق ذلك عن طريق مجموعة من توابع التشوه تربط بين حالة الشوه للمادة داخل العنصر وبين تشوهات العقد وقد شكلت هذه التوابع وفق الشكل المصفوفي لإنشاء المعادلة الاساسية للعناصر المحددة.

يأخذ البرنامج بالحسبان إمكانية تقسيم الشبكة إلى عناصر مختلفة الأشكال بما يخدم المسألة المدروسة (عناصر خطية - عناصر جائزية - عناصر مثلثة ومربعة ومستطيلة - عناصر فجوة). بحسب الشكل 1.



الشكل 1: أشكال العناصر التي يمكن تقسيم الشبكة بها

وقد روعيت في الحساب النقاط التالية التي تتعلق بها بشكل حاسم دقة الحسابات:

- § قانون المادة المختار والذي يعبر بشكل تقريبي عن حقيقة سلوك المادة المدروسة.
- § فرضية الانهيار للتربة.
- § الشروط الطرفية والظروف المحيطة.
- § درجة التقسيم للشبكة.
- § توابع الازاحة والتي تعبر بشكل تقريبي عن حالة التشوه للعنصر.
- § الجاهزية النوعية والكمية لنتائج التجارب المخبرية المجرى على التربة لتحديد متحولات الحساب.

### قانون المادة:

إن قانون المادة هو التعبير الرياضي عن الواقع المدروس فقانون المادة يعبر بعلاقات رياضية عن العلاقة بين التشوه والإجهاد [2]، ومن أجل تحديد قانون المادة المناسب تم إضافة إلى المحاكاة الحاسوبية لتجربة القص تصميم موديلات تجريبية مخبرية منمذجة [6] هي عبارة عن صناديق من الزجاج تملأ بالتربة طولها ثلاثة أضعاف عرضها مفتوحة من جهة واحدة وتم التعامل مع الموديل كما يلي:

1. يمثل الجدار الاستنادي بشريحة زجاجية صلبة متحركة تعمل كبوابة لفتح الصندوق وبالارتفاع المرغوب بما يتناسب مع ارتفاع الردم الموجود في الصندوق.
2. صممت الشريحة الزجاجية الصلبة بحيث يمكن أن تثبت في الصندوق من طرفها السفلي وتحرر من طرفها العلوي وبالعكس بحيث يكون لها إمكانية الدوران.

3. اختيرت الشرائح الزجاجية بخشونات سطح مختلفة وتم قياس الاحتكاك بينها وبين التربة المجربة وذلك بإجراء تجارب سحب للشرائح الزجاجية المغمورة ضمن التربة المجربة والمعرضة لحمولة ناظمية.
4. وضعت في اعلى الصندوق قوس مدرجة لقياس زوايا الدوران الأولية المفروضة ومسطرة مدرجة دقيقة لقياس قيم الانزياح الأفقي الأولي المطبق قبل التجربة تم ترتيب حساسات الكترونية لقياس التشوهات الأفقية والشاقولية.
5. صمم الموديل بحيث يمكن بدلا من الشريحة الزجاجية الصلبة استخدام شريحة مرنة مطاوعة قابلة للانعطاف دون الكسر فيما لو تم تثبيت الجدار من الطرفين الأعلى والأسفل.
6. تم تجريب العديد من الترب الرملية (ناعمة - خشنة - متوسطة الخشونة... الخ) وتم تجفيفها بحسب الأصول الفنية لإلغاء أي تماسك ظاهري موجود. وتم ردم التربة في كل تجربة على طبقات متعاقبة وبين كل طبقتين فرشت طبقة قليلة السماكة من نفس نوع الرمل الذي جرى تلوينه بمادة ملونة واستخدم لدك التربة مدك خشبي يدوي وأخذت عينات من كل طبقة لقياس وزنها الحجمي وكذلك درجة ارتصاصها بعد الدك.
7. رتبت ساعات للقياس في مختلف نقاط الصندوق لقياس التشوهات.

بعد تجريب النماذج المختلفة مخبريا حسب كل نموذج وموديل بطريقة العناصر المحددة باستخدام البرنامج المصمم وتم استخدام قوانين مادة مختلفة للمقارنة استخرجت بارامترات من تجارب الثلاثي المحاور وقد جرى تقسيم الموديل الحسابي الشبكة قسمت بدورها الى العناصر التالية :

- عناصر رباعية الاضلاع ومثلثة من اجل التربة.
- عناصر جانبية للجدار (الشرائح الزجاجية).
- عناصر فجوة وهمية بين الجدار والتربة خلفه.

تمت المقارنة بين نتائج الحسابات ونتائج القياسات واتباع المسار التالي :

1. اختيار قانون المادة الاقرب الى نتائج التجارب المخبرية (Schad) واعتمد كقانون مادة أساسي في الحساب وتبين ان قانون المادة الذي يعبر عن السلوك المرن غير الخطي اعطى نتائج مقبولة جدا. كما ان اختيار هذا القانون كان لان:

- تحديد بارامترات المادة سهل وبسيط لأنه يمكن اعتماد العاملين  $G$  (عامل مرونة القص) و  $K$  (عامل التشوه الحجمي) بدلا من  $m$ ,  $E$  (بارامترات المرونة) وذلك لان التشوهات الايزوتروبية يمكن كتابتها بدلالة  $K$  والتشوهات الدفياتورية بدلالة  $G$  [2].

- يعتبر هذا القانون جيدا جدا من اجل وصف مرحلة الانضغاط للتربة تحت التحميل.

- يفترض هذا القانون تقسيم الاجهادات الى ايزوتروبية ودفياتورية وتحديد التشوه الناجم عن كل منهما.

2. تم الحساب بالقانون المذكور اكثر من مرة وعدلت بارامترات القانون لكي تعطي نتائج اقرب الى القياسات.

3. اعترضتنا مسألة هامة هي مسألة التماس بين الجدار والتربة خلفه في النموذج ومن اجل حل هذه المسألة افترض وجود عناصر فاصلة وهمية بين العنصر الجداري وعنصر التربة اطلق عليها اسم عناصر الفجوة وقد

ساعد هذا الافتراض بنجاح على احتواء الانزياح المتبادل بين التربة والجدار وقد استنبط لعنصر الفجوة قانون مادة مناسب يعتمد على نظرية الاحتكاك.

### الموديل الحسابي وطريق البحث :

بعد استكمال كل مقدمات البداية بالبحث جرى تطوير الدراسة والبرنامج كما يلي :

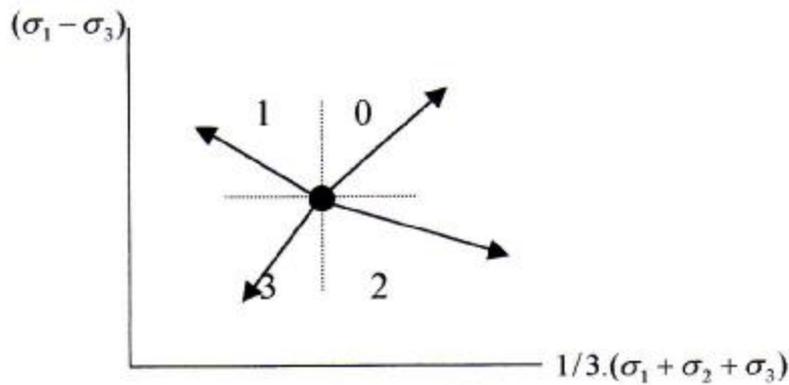
- قربت السلوكية غير الخطية بتقسيم منحني الاجهاد - تشوه الى عدد كبير من المستقيمات.
  - اعتمدت فرضية انهيار مور - كولومب بدلالة الاجهادات الرئيسية ودياتور الاجهاد لحظة الانهيار.
- وربطت علاقة الانهيار بالمعامل  $G$

$$(s_1 - s_3)_f = 2.G.\cos\phi - \sin\phi .(s_1 + s_3)$$

حيث  $s_1, s_3$ : الاجهادات الرئيسية.

$(s_1 - s_3)_f$ : دفياتور الاجهاد لحظة الانهيار

- صمم البرنامج بحيث انه اذا كان دفياتور الاجهاد في عنصر ما اكبر من دفياتور الاجهاد لحظة الانهيار فان عامل مرونة القص ياخذ تلقائيا القيمة الصغرى وبذلك تصبح التشوهات المتزايدة بشكل لانهايي عند الانهيار مقبولة حسابيا. كما ان الاجهادات اذا كانت اكبر من اجهادات الانهيار فان البرنامج يعتبرها مساوية الى القيمة الحدية وهذا يمكننا من معرفة مناطق الانهيار.
  - اعتبرت الاجهادات الشادة غير مسموحة.
  - تم تحديد اربع مناطق لمسار الاجهاد من 0 الى 3 وذلك بحسب انخفاض او ارتفاع مسار الاجهاد.
- الشكل 2.

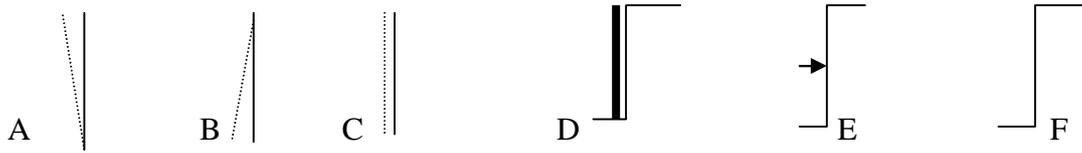


الشكل 2 : مناطق مسار الاجهاد

- استخدم في البرنامج تقريب نيوتن رافسون المعدل بحيث يتم عند كل حمولة جزئية حساب مصفوفة القساوة التي تعبر عن مستوى الاجهاد الذي وصل اليه.
- حلت مجموعة المعادلات بطريقة شولسكي.

### الشروط الطرفية :

- كما ذكرنا سابقا فقد افترضنا لحل مشكلة التماس بين الجدار والترية وجود عناصر فجوة وهمية افترض ان لها قساوة في الاتجاه المماسي هي  $K_S$  ويعبر عن تغير الانزياح على طول العنصر بدلالة الاجهاد المماسي. وافترض لعنصر الفجوة قساوة في الاتجاه الناطمي هي  $K_N$  ويعبر عن تغير التشوه في الاتجاه الناطمي على العنصر بدلالة الاجهاد الناطمي.
- اخذ بعين الاعتبار وجود مناطق في الشبكة غير قابلة للحركة وذلك عند اختيار العقد والمساند الواقعة في هذه المنطقة.
- امكانية اعتبار أي انزياح مؤثر على المنشأة على انه حمولة بالمفهوم المجازي [4].
- امكانية تطبيق الحمولات الخارجية على المنشأة وادخال ذلك ضمن شروط تحميل العقد.
- اختيرت الحالات التالية للدراسة :



حفرة تاسيس غير مدعمة    حفرة تاسيس مدعمة    جدار صلب لايتحرك    انزياح متواز    دوران حول الراس    دوران حول القاعدة

### الشكل 3: الحالات المدروسة

1. كموديل حسابي انشئت الشبكة للحالات (A,B,C,D) دون ادخال التربة تحت مستوى الجدار في الشبكة باعتبار اننا ندرس مسالة الدفع الجانبي وللحالتين (E,F) مع ادخال التربة تحت الجدار في الشبكة. الشكل (4).



### الشكل 4: الشبكة كموديل حسابي

2. نمذجت الحالات A ,B ,C عن طريق تحميل قيم الانزياحات بشكل منتظم على العقد الخارجية للشبكة دون ادخال عناصر الفجوة ونمذجت الحالة الرابعة باعتبار الجدار مؤلفا من عناصر جانزية لها صلابة وترتبط مع بعضها بشكل وثيق وامكن تمثيل الدوران لهذا النموذج بتطبيق قوة محملة في الطرف العلوي له الشكل (5).



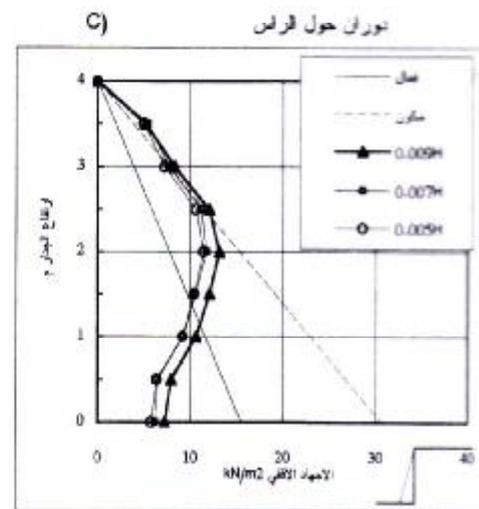
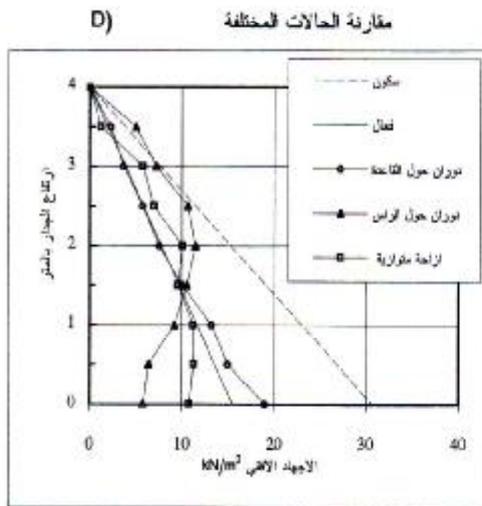
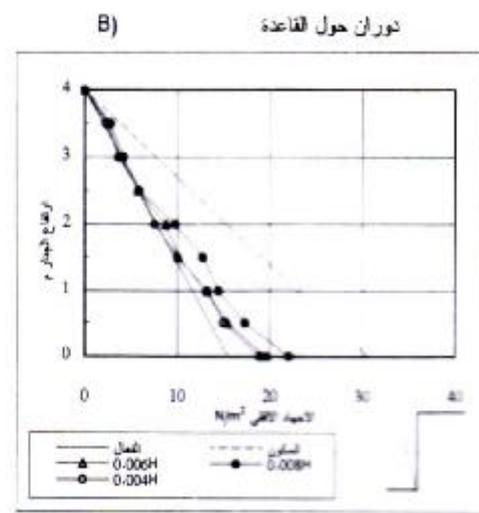
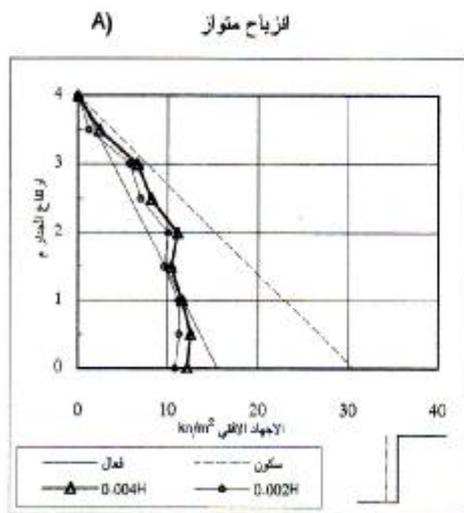
### الشكل 5: نمذجة الانزياحات والدورانات

3. اعتبر في الموديلات ان الحالة الابتدائية هي حالة السكون على اساس ان معامل الدفع الساكن  $k_0 = 1 - \sin \phi$  واعتبر ان استثارة الاجهادات الافقية الفعالة تبدأ كما تحدد اغلب الانظمة عند قيمة صغرى للانزياح تساوي  $0.001H$  حيث  $H$  ارتفاع الجدار [5].

### نتائج الحسابات :

1. الشكل رقم (6) يبين قيم الدفع الجانبي الفعال لمختلف حالات النزياح والدوران على اعتبار ان زاوية الاحتكاك بين الجدار والترية  $d = 0$  ومن الواضح بحسب المخططات ان الدفع الجانبي يقل مع زيادة الانزياح.
2. الشكل رقم (7) يبين الدفع الجانبي الفعال للحالات السابقة على اعتبار ان  $d = 28^\circ$ .
3. يستنتج بوضوح من الشكلين السابقين ان القيم الاقرب الى الدفع الجانبي الفعال هي عندما يكون الانزياح الاصغري مساويا الى  $0.002H$  لحالة الانزياح المتوازي و  $0.004H$  لحالة الدوران حول القاعدة و  $0.005H$  لحالة الدوران حول الراس مهما كانت قيمة  $d$ .
4. الشكل رقم (8) يظهر نتائج الحساب في حالة الجدار غير القابل للحركة ويبين المخطط (أ) تطابقا مقبولا لحالة الدفع الساكن مع القيمة النظرية في حالة الجدار الساكن. اما المخطط (ب) فهو لحالة جدار غير قابل للحركة حمل سطح التربة خلفه بحمولة شريطية تساوي  $(10 \text{ kN/m}^2)$  بعرض  $2 \text{ m}$  وذلك للحالتين  $d = 0$  و  $d = 28^\circ$  واطهرت النتائج ان القيم هي اقرب ماتكون الى قيمة الضغط الفعال عندما تكون قيمة الزاوية  $d$  تساوي  $80\%$  من قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي.
5. كان هناك تطابق مقبول نسبيا بين مسارات الاجهاد في التجارب والحسابات حيث ان مسارات الاجهاد اغلب العناصر في منطقة الدفع الفعال وقعت ضمن المجال 1 (شكل 2).
6. يبين المخطط (c) من الشكل رقم (8) مقارنة بين قيم معامل الدفع الجانبي للتربة للحالات المختلفة بدلالة قيم مختلفة للانزياح من  $0$  الى  $0,01$  وذلك من اجل عنصر التربة  $E$  الواقع خلف منتصف الجدار ويبين المخطط ان القيم العظمى هي من اجل حالة الدوران حول الراس التي تقتارب الى حد ما مع قيم معامل الدفع اثناء السكون.
7. في المخطط (D) من الشكل رقم (8) مقارنة بين قيم الدفع الجانبي على جدار حفرية في التربة دون تدعيم مع قيم الدفع الجانبي على نفس جدار الحفرية مع وجود دعامة في الوسط ويبين المخطط ان الاجهاد الافقي عند نقطة تثبيت الدعامة يساوي تقريبا اجهاد الدفع الساكن للتربة في هذه النقطة.
8. من خلال دراسة حالات التشوه المختلفة للتربة خلف الجدار يتبين ان :  
 . ان سطح الانزلاق المحتمل في جميع الحالات هو غير خطي (وهو ما يخالف تقريبا كولومب). لذلك يجب التفكير في استخراج قيم تقريبية اخرى لدفع التربة في ابحاث مقبلة.  
 . اعتمادا على التشوه الحاصل في الحالات المختلفة امكن تقدير قيم مقبولة لزاويا خطوط انتشار الاجهادات في تربة الردم وبالتالي استنباط قيم تقريبية للضغط الجانبي للحالات المختلفة حيث يبين الشكل 10/ الاقتراح التقريبي المستنتج لتوزع الدفع الجانبي للتربة على الجدار في حالتي الدوران حول الراس والانزياح المتوازي.



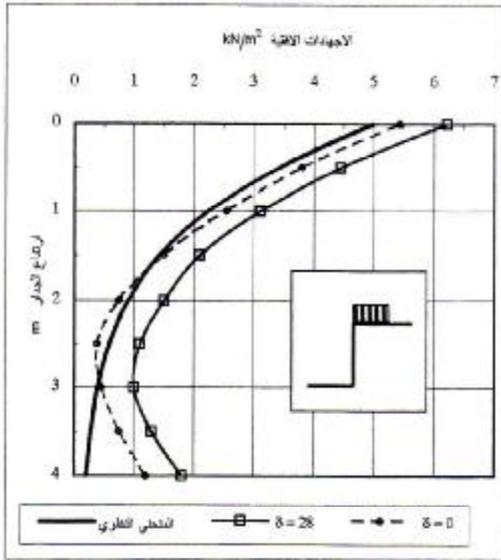


الشكل ( 7 ) : مخطط الدفع الجانبي للتربة للحالات المختلفة من الانزياح عندما  $\phi = 0.8$

(نتائج الحسابات بالعناصر المحددة)  $\phi = 35^\circ$

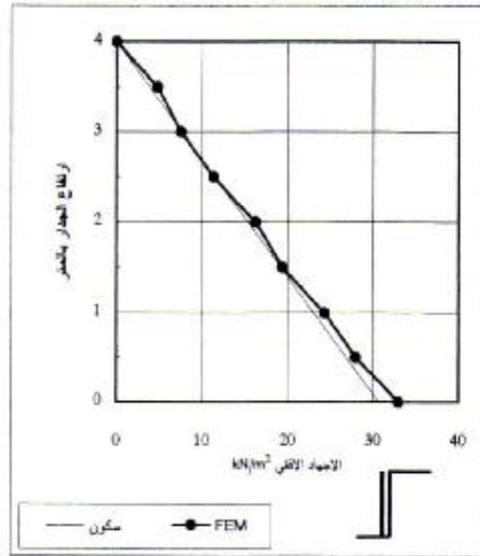
B)

الجدار محمل بحمولة شريطية  $10 \text{ kN/m}^2$  بعرض  $2 \text{ م}$



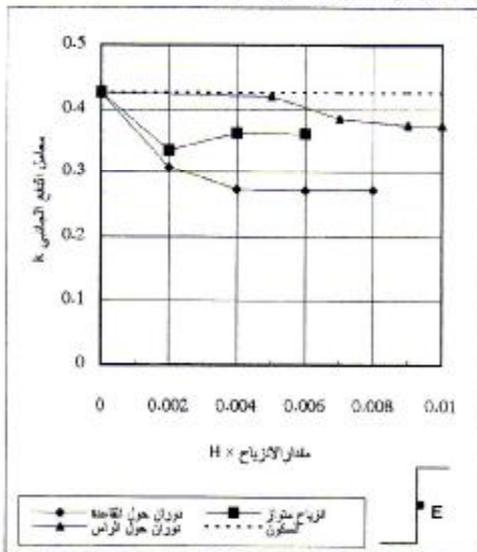
A)

جدار صلب لا يتحرك



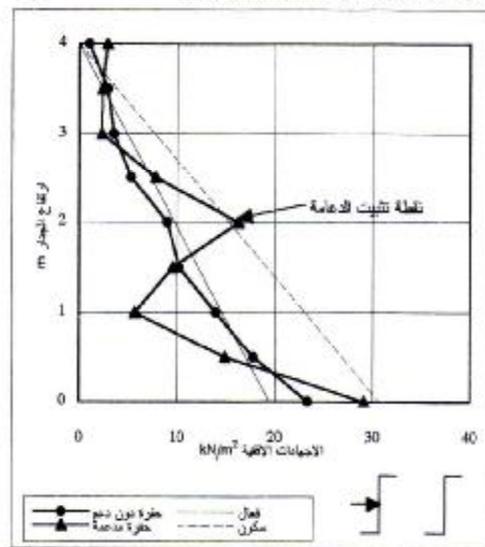
C)

قيم معامل التفع الجانبي  $k$  لعنصر مختار  $E$

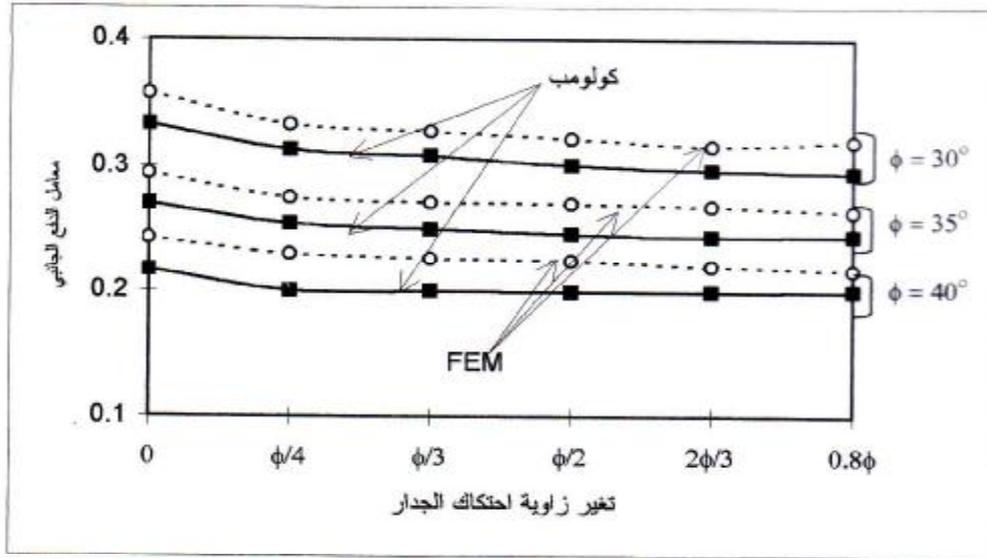


D)

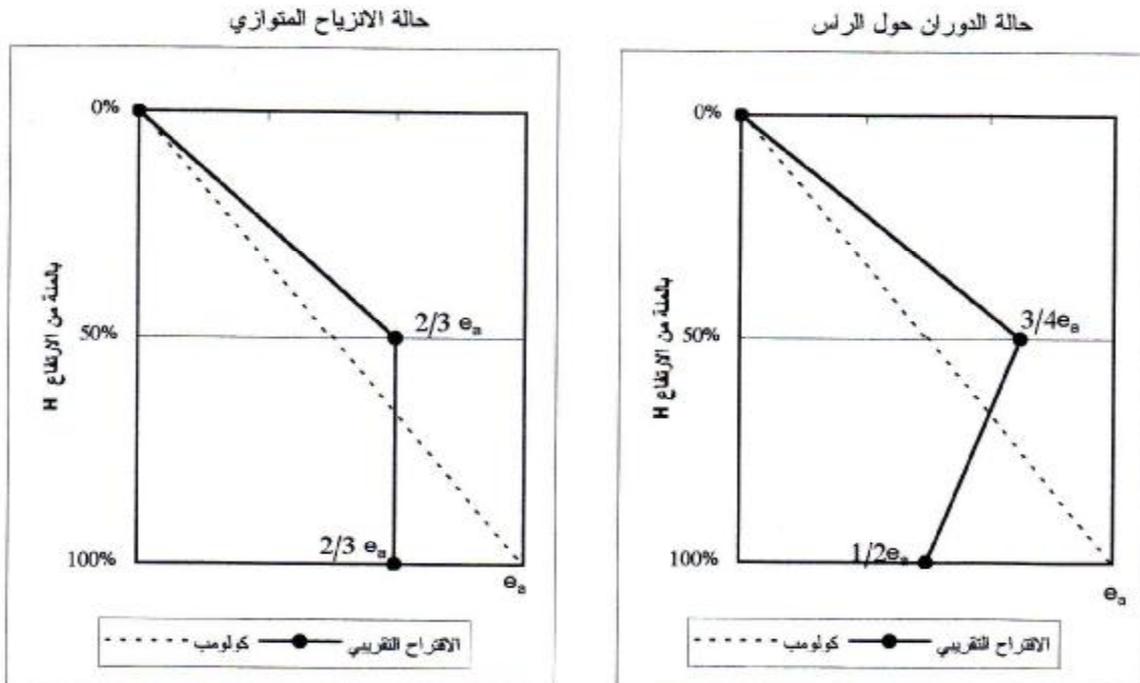
مقارنة قيم الضغط على حفرة مدعمة وحفرة دون تدعيم



الشكل رقم (8)



الشكل رقم 9 : قيم معامل الدفع الجانبي بدلالة تغير زاوية احتكاك الجدار مع تربة الردم خلفه وذلك من اجل قيم متعددة لزاوية الاحتكاك الداخلي عند الانزياحات الحدية (حالة دوران الجدار حول القاعدة)



الشكل رقم /10/ : الاقتراح التقريبي لتوزيع الدفع الجانبي على الجدران الاستنادية

## المراجع:

.....

- 1- Rehfeld, E. ; Teichmann, F.: Zum Stand der Berechnung von spannungs-Verformungszuständen in Erdbauwerken. Technische Information 1/1984; S.1-15 -Dresden.
- 2- Schad,H: Nichtlineare Stoffgleichungen für Böden und ihre Verwendung bei der numerischen Analyse von Grundbauaufgaben.Baugrundingstitut Stuttgart, Mitteilund Nr. 10, 1979.
- 3- Girod,K: Der Einsatz der Methode der FEM zur Lösung Grundbaulicher Probleme bei der Rekonstruktion. 4. Symposium der deutschen Komitees für Bodenmechanik u.Grundbau in: Bauforschung – Baupraxis Heft 1 1986.
- 4- Franke ,D. Beiträge zur praktisschen Erddruckberechnung.Habilitationsschrift ,Tu Dresden ,1983
- 5- DIN V 4085-100, 1996: Baugrund ; Berechnung des Erddrucks - Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten.1996.
- 6- Franke,D 1997: Ergebnisse von Modellversuchen zur Untersuchung der Abhängigkeit des stützenden Erddrucks von Eandbewegungen, OHDE-Kolloquium 1997. Mitteilungen Institut für Geotechnik.