



جامعة دمشق  
كلية الهندسة المدنية  
قسم الهندسة الجيوتكنيكية

## دراسة تجريبية ونمذجة عددية للإنضغاط الرشحي في الحالة الخطية للترب الغضارية مع الأخذ بعين الاعتبار تغير معامل النفاذية

بحث أعد لنيل درجة الماجستير في الهندسة الجيوتكنيكية

إعداد المهندسة : رجاء عباس عباس

بإشراف

المشرف المشارك  
د.م.معن هلال

الأستاذ المشرف  
د.م.عبد الرحمن الهنصوري

العام الدراسي

2015-2014

# شكراً....

أتوجه بجزيل الشكر والإمتنان لكافة أعضاء الهيئة التدريسية في قسم الهندسة الجيوتكنيكية بجامعة دمشق مع فائق التقدير والإحترام . . .

الشكر الجزيل للدكتور عبد الرحمن المنصوري والدكتور معن هلال اللذين تفضلاً بالإشراف على هذا البحث وقدموا لي الكثير من العلم والخبرة . . وكانا المرجع الأكبر الذي اعتمدت عليه في هذا العمل . . .

الشكل الجزيل للدكتور ابراهيم حمود الذي أبدى كل الحرص لمتابعة العمل وعسى أن تعبر كلمة شكراً عن عميق امتناني وتقديري للجهد الكبير الذي بذله لتوجيه وإنجاح هذا البحث . . .

الشكل الجزيل للدكتور طلال عواد للمساهمة في إغناء البحث وإيصاله إلى بر الأمان . . .

الشكل الجزيل للمهندس حازم بركات للمساعدة في نجاح هذا البحث . . .

الشكل الجزيل لكافة العاملين في مخبر ميكانيك التربة بجامعة دمشق ومخبر ميكانيك التربة بجامعة البعث ومخبر الخدمات الفنية بحمص لما قدموه من مساهمة وتسهيلات . . .

## المخلص :

تعتمد نظرية ترزاكي للإنضغاط الرشحي على أن معامل النفاذية ثابت خلال الإنضغاط الرشحي ونفترض في هذا البحث أن معامل النفاذية يتناقص مع الزمن أثناء الإنضغاط ، حيث تمت دراسة تغير معامل النفاذية خلال الإنضغاط الرشحي ، وتأثير ذلك على حساب تطور الهبوط مع الزمن بالاعتماد على المعادلة التفاضلية للإنضغاط الرشحي وتضمن البحث المراحل التالية :

- إجراء الدراسة التجريبية لثلاثة أنواع من الترب الغضارية ( تربة جرمانا ، تربة سهل الغاب ، تربة جامعة البعث) بإجراء تجارب الخواص الفيزيائية ، وتجارب القرائن المصنفة للتربة ، وتجارب التشديد مع دراسة النفاذية ، حيث تم وصل أنبوب بيزومتري إلى خلية التشديد وتم مراقبة تغير الضاغط أثناء تجارب التشديد .
- حساب تطور الهبوط مع الزمن للترب المدروسة ، بتطبيق المعادلة التفاضلية للإنضغاط الرشحي ضمن المجال الكلي للإنضغاط الرشحي ( اعتبار معامل النفاذية ثابت ) ، ومن ثم تقسيم الإنضغاط الرشحي لمجالات جزئية متساوية ، وتطبيق المعادلة التفاضلية ضمن المجالات الجزئية ( اعتبار معامل النفاذية متغير ) .
- المقارنة بين نتائج الهبوط التجريبية من تجربة التشديد في الأدومتر ، مع النتائج الحسابية للهبوط الناتجة من تطبيق المعادلة التفاضلية للإنضغاط الرشحي في الحالتين ( اعتبار معامل النفاذية ثابت ، متغير ) .
- إجراء نمذجة عددية للإنضغاط الرشحي للترب المدروسة ومقارنة نتائج النمذجة مع النتائج التجريبية .

## مقدمة :

إن معرفة سرعة نمو الهبوط موضوع في غاية الأهمية بالنسبة لتصميم المنشآت وعدم أخذه بعين الاعتبار يؤدي أحياناً إلى تصدع المبنى أو انهياره ، وفي حالة التربة الغضارية فإن الهبوط يستمر مدة طويلة قد تبلغ عدة سنين أو عشرات السنين ، و تعتمد دراسة الهبوط مع الزمن للترب الغضارية على نظرية الإنضغاط الرشي المقترحة من قبل العالم ترزاكي والتي تعتمد على قيمة ثابتة لمعامل النفاذية خلال عملية الإنضغاط وفي هذا البحث تم افتراض أن معامل النفاذية يتناقص مع الزمن أثناء الإنضغاط الرشي إنطلاقاً من الفرضية العلمية بتناقص معامل المسامية بسبب خروج الماء من مسامات التربة خلال الإنضغاط ، حيث تم دراسة الإنضغاط الرشي للترب الغضارية مع الأخذ بعين الاعتبار تغير معامل النفاذية ، وتأثير ذلك على حساب تطور الهبوط مع الزمن بالإعتماد على المعادلة التفاضلية للإنضغاط الرشي ، والتي تعتمد على معادلات رياضية تتفق مع تثبيت قيمة الهبوط النهائية ودراسة تطور الهبوط مع الزمن فقط .

وبالتالي يمكن من خلال هذا البحث تقدير تطور الهبوط مع الزمن للترب الغضارية بدقة آخذين بعين الاعتبار تغير معامل النفاذية أثناء التشديد ، وكذلك من الممكن تقدير زمن اكتمال الهبوط حيث نستفيد من ذلك في مجال تحسين التربة قبل تشييد المنشأة عن طريق التحميل المسبق بالردميات لزمن معين من أجل تسريع عمليات التشديد ، وكذلك يمكن من خلال هذا البحث الإستفادة من النمذجة في معرفة تطور الهبوط مع الزمن من خلال إجراء نمذجة عددية للإنضغاط الرشي ومقارنة نتائج النمذجة مع النتائج التجريبية.



# الفهرس

رقم الصفحة

المحتويات

## الفصل الثالث

### التحليل الرياضي والحسابي

- ١ ٤ - حساب الهبوط مع الزمن بتطبيق نظرية الإنضغاط الرشي ..... 66
- ٢ ٤ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جرمانل ..... 67
- ٣ ٤ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة سهل الغاب ..... 71
- ٤ ٤ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جامعة البعث ..... 75.

## الفصل الرابع

### تحليل النتائج

- ١ ٤ - المقارنة بين النتائج التجريبية والحسابية للهبوط في الترب المدروسة ..... 80
- ٢ ٤ - حساب معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشي للترب المدروسة ..... 84

# الفهرس

رقم الصفحة

المحتويات

## الفصل الخامس النمذجة العددية

89	5-1- مقدمة نظرية .....
89	5-2- برنامج plaxis .....
89	5-3- نمذجة سلوك التربة وفق برنامج plaxis .....
1	5-4- استخدام برنامج plaxis في النمذجة العددية للإنضغاط الرشحي .....
93	5-5- المراحل المتبعة في النمذجة العددية للإنضغاط الرشحي .....
96	5-6- معايرة النموذج الهندسي .....
97	5-7- النتائج النهائية للنمذجة العددية للإنضغاط الرشحي للترب المدروسة .....
101	5-8- المقارنة بين نتائج النمذجة العددية ونتائج تجارب التشديد للترب المدروسة .....

## الفصل السادس النتائج والتوصيات

102	النتائج .....
106	المراجع .....

# الفصل الأول

## الدراسة المرجعية

- ١ مقدمة.
- ٢ تعريف الإنضغاط الرشحي .
- ٣ ميكانيكية الإنضغاط مع الزمن .
- ٤ الدراسة التجريبية لإنضغاط التربة .
- ٥ الغضار المشددة طبيعياً و الغضار مسبق التشديد.
- ٦ حساب الهبوط الناتج عن التشديد الأولي في الغضار .
- ٧ نظرية الإنضغاط الرشحي .
- ٨ تحديد معامل الإنضغاط الرشحي .
- ٩ نفاذية التربة .



## 1- الدراسة المرجعية :

### ١ + مقدمة :

إنضغاط التربة هو قابليتها لتخفيض حجمها تحت تأثير المؤثرات الخارجية (مثل الحمولات الضاغطة ، تغير منسوب المياه الجوفية ... ) ويمكن أن نرجع حدوث الإنضغاط أو الهبوط في التربة إلى الأسباب التالية :

- تراص التربة والذي ينتج عنه إعادة توضع جزئيات التربة بالنسبة لبعضها البعض ويصحب ذلك انخفاض في مسامية التربة وازدياد في كثافتها .
- مرونة الشبكة البلورية للجزئيات الصلبة للتربة (قابليتها للتشوه) .
- التشوهات الناتجة عن تغير سماكة الأغشية المائية المحيطة بالجزئيات الصلبة .
- تشوهات السيلان والتي تظهر في التربة الغضارية المشبعة بالماء . [18]

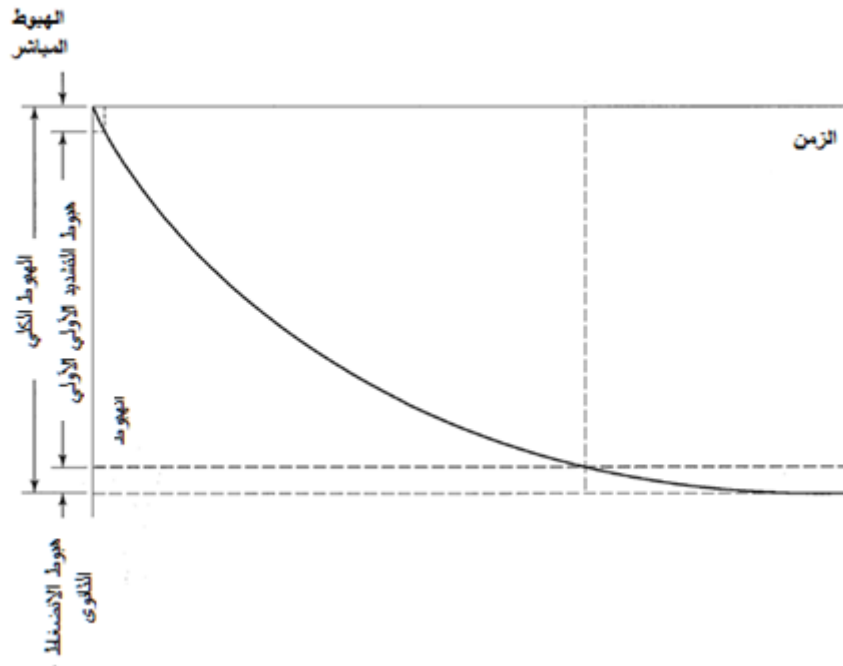
وإن أي منشأ مشي على التربة يخضع للهبوط ، فإذا كان الهبوط صغير ومنتظم على كامل أرضية المنشأ يمكن قبوله وتحمله ، بينما الهبوط الغير منتظم لنفس المنشأ لا يمكن التغاضي عنه ، ويحدث الهبوط بسبب إنضغاط التربة الذي ينشأ عن نقصان حجم المسامات ، مرفقاً بإعادة ترتيب حبيبات التربة فإذا كانت التربة جافة تكون المسامات ممتلئة بالهواء ، وبما أن الهواء قابل للإنضغاط فإن إعادة ترتيب الحبيبات يكون سريعاً ، بينما عندما تكون التربة مشبعة فإن مساماتها تكون ممتلئة بالماء الغير قابل للإنضغاط ، والذي لا بد أن يطرد إلى خارج كتلة التربة قبل أن يعاد ترتيب حبيباتها . [2]

ويستمر الهبوط مع استمرار إنضغاط تربة القاعدة ، وذلك حسب نوع التربة فعندما تكون التربة رملية أو بحصية يبلغ الهبوط قيمته النهائية خلال زمن قصير ، لا يتجاوز مدة نمو حمولة الأساس حتى انتهاء تنفيذ المبنى ، وعندما تكون التربة غضارية يستمر الهبوط مدة طويلة من الزمن قد تبلغ عشرات السنين ، وبالتالي تختلف التربة من حيث قابليتها للإنضغاط باختلاف نوعها ، فالتربة الحبيبية (الرملية) تتنضغط بشكل واضح تحت تأثير الحمولات الديناميكية القصيرة الأمد وتكون قليلة التراص تحت تأثير الحمولة الستاتيكية ، وهي ترب عالية النفاذية حيث يتم طرد الماء بوقت قصير ، وبالتالي تحدث الهبوطات بوقت قصير وتنتهي بتمام عملية البناء ، أما الترب الغضارية قد يستمر الهبوط لعدة عقود لأن نفاذيتها بطيئة جداً ، حيث يستغرق الماء زمن طويل ليتم تصريفه وهي الحالة التي تستحق التركيز فيها ، بسبب طول مدة الهبوط وتفاوت قيمه وتتوقف سرعة الإنضغاط على سرعة عصر الماء من التربة ، وبالتالي على قيمة معامل المسامية و معامل النفاذية، وعند ضغط العينة المشبعة بالماء تنخفض المسامية مع زيادة الضغط المؤثر وتنخفض سرعة الرشح . [18] ، [2]

ويكون تغير ضغط ماء المسام سريعاً في الرمل ، بسبب النفاذية العالية ويسمى ذلك تحميل مصرف ، أما في السيلت والغضار يتولد ضغط ماء مسام زائد يبقى محبوس داخل المسام بسبب النفاذية الضعيفة ويسمى ذلك بالتحميل غير المصرف . [8]

## 2-1- تعريف الإنضغاط الرشحي :

- يتألف الهبوط في الترب الغضارية المشبعة المحملة بحمولة إضافية من ثلاثة أجزاء :
- 1 - الإنضغاط المباشر ( الإبتدائي) ، 2 - الإنضغاط الأولي (الإنضغاط الرشحي) .
  - 3- الإنضغاط الثاني (الثانوي) كما هو مبين في الشكل (1-1) : [2]



الشكل (1-1) أقسام الهبوط الكلي في الترب الغضارية

### 1- الإنضغاط المباشر (الإبتدائي) :

يحدث بسرعة بعد تطبيق الحمولة وبشكل مقدار صغير من الهبوط الكلي في الترب الناعمة الحبات ، وينتج عن خروج فقاعات الهواء من الماء في مسامات التربة ، ويحدث خلاله انتقال الضغط إلى الماء بشكل كلي ، ويسمى الإنضغاط في هذه المرحلة بالإنضغاط الإبتدائي.

### 2- الإنضغاط الأولي (الإنضغاط الرشحي) :

ينتج عن رشح الماء (خروجه) من مسامات التربة عند تطبيق حمولة خارجية على التربة الغضارية المشبعة بالماء ، حيث تنتقل كامل الحمولة في البداية إلى الماء الذي يشغل مسامات التربة ، وبما أن الماء غير قابل للإنضغاط يبدأ الضاغط في ماء المسامات بالارتفاع حتى يبلغ حد معين يبدأ بعده الماء بالرشح (الخروج) من مسامات التربة ، ويؤدي ذلك إلى تناقص ضغط

ماء المسام مع الزمن تدريجياً وانتقال جزء من الحمولة إلى جزئيات التربة بالتدرج ، وتنتهي عملية الإنضغاط الرشحي عند تلاشي ضغط ماء المسام الزائد (الناتج عن تطبيق الحمولة ) وتصبح الحمولة بكاملها مطبقة على جزئيات التربة ، وأثناء الإنضغاط الرشحي يتوزع الإجهاد الكلي (الناتج عن تطبيق الحمولة الخارجية) على الطورين المشكلين للتربة ، وهما الطور الصلب والطور المائي ، وعند أي زمن t من الإنضغاط الرشحي يكون الإجهاد الكلي مساوي لمجموع الإجهاد الفعال المنقول إلى هيكل التربة والضغط المسامي أي : [ 2 ]

$$\sigma = \sigma' + u$$

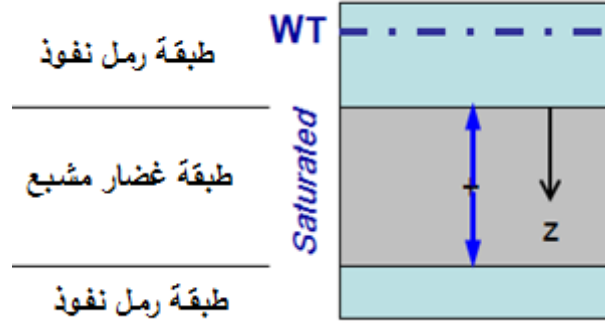
$\sigma$  الإجهاد الكلي ،  $\sigma'$  الإجهاد الفعال ، u الضغط المسامي .  
الضغط أو الإجهاد الفعال وهو الضغط المؤثر في هيكل التربة ، و يؤدي إلى تراص التربة ونقصان مساميتها ، حيث تزداد مقاومة التربة للحمولات الخارجية أي أن لهذا الضغط تأثير فعال على طبقة التربة ، وينتقل هذا الإجهاد عن طريق سطوح تماس الجزئيات الصلبة مع بعضها البعض ، أما الضغط المسامي أو الحيادي هو الضغط المؤثر في الماء حيث لا يؤثر على تراص التربة أو على مساميتها أي هو ضغط حيادي ، و ينتقل عن طريق الماء في مسامات التربة ، والضغط أو الإجهاد الكلي هو الإجهاد الخارجي ويساوي مجموع الضغوط المتوزعة في هيكل التربة ومساماتها. [18]

### 3- الإنضغاط الثاني ( الثاني ) :

بعد إنتهاء الإنضغاط الرشحي (خروج كامل الماء الموجود في مسامات التربة الناعمة ) يحدث هبوط إضافي يعرف بالهبوط الثانوي أو الثاني بمعدل بطيء للغاية ، كنتيجة للتشوهات اللدنة لألياف التربة الغضارية المشبعة عند إجهاد فعال ثابت ، وقيمة ضغط ماء مسامي معدومة وتكون قيمته ذات أهمية كبيرة من أجل الغضار عالي الإنضغاط والترب العضوية ، و غير هامة من أجل الترب ذات الإنضغاطية المتوسطة والترب الغير العضوية ، ويستمر الهبوط الثاني مدة طويلة من الزمن لا يمكن تمثيلها مخبرياً . [12]

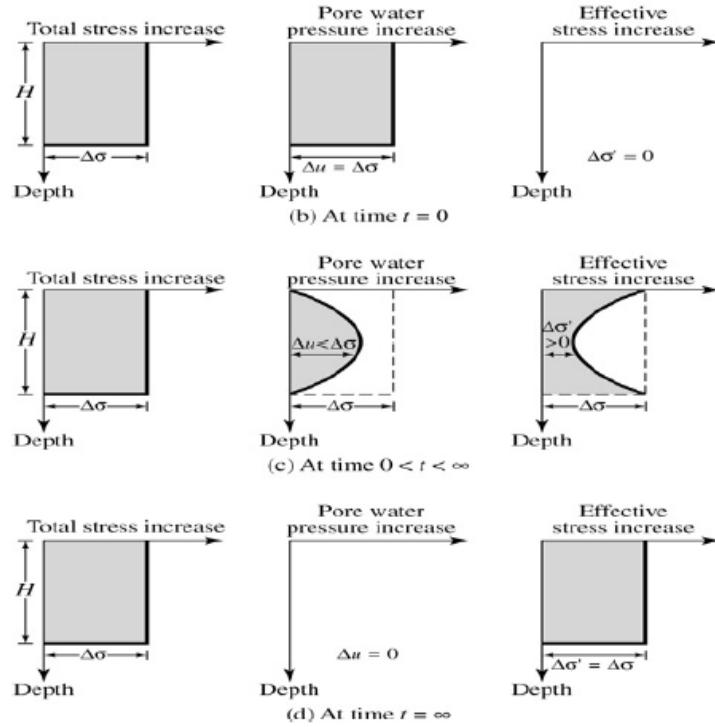
-الإنضغاط الرشحي حسب ( Terzaghi (1943) يعبر عن نقصان حجم التربة الغضارية المشبعة نتيجة طرد ماء المسام دون استبداله بالهواء ، وعندما تتعرض التربة الغضارية المشبعة ذات معامل النفاذية المنخفض لإجهاد ضغط بسبب حمولة الأساس ، فإن ضغط ماء المسام سوف يزداد مباشرة وبسبب النفاذية المنخفضة للتربة ، يوجد فارق زمني بين تطبيق الحمولة وطرد ماء المسام، و الهبوط الناتج هو التشديد أو الإنضغاط الرشحي. [11]

-ولكي نفهم المبادئ الأساسية للإنضغاط الرشحي نعتبر لدينا طبقة غضار متوضعة تحت مستوى المياه الجوفية وبين طبقتي رمل عاليتي النفاذية كما هو مبين في الشكل ( 2-1 ) : [15]



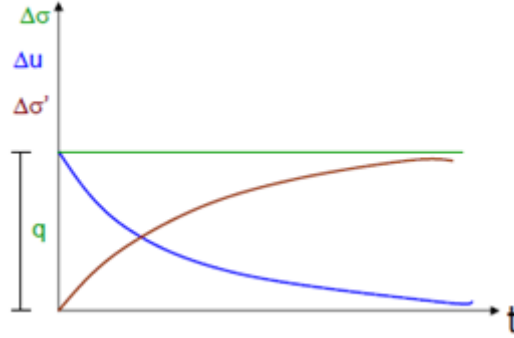
الشكل (1-2) طبقة غضار مشبع تتوضع بين طبقتي رمل نفوذ

فبعد تطبيق حمولة إضافية  $\Delta\sigma$  على سطح الأرض ، سوف يزداد ضغط ماء المسام  $\Delta u$  مباشرة ، أما الزيادة في الإجهادات الفعالة  $\Delta\sigma'$  تساوي الصفر ، أي أنه في بداية الزمن لتطبيق الحمولة يكون (  $t=0$  ،  $\Delta u = \Delta\sigma$  ،  $\Delta\sigma' = 0$  ) ، ومع مرور الزمن يتحرك الماء باتجاه طبقتي الرمل العاليتي النفاذية مخفضاً بذلك ضغط ماء المسام الزائد وهذا بدوره يزيد الإجهاد الفعال بنفس المقدار (  $t>0$  ،  $\Delta\sigma' + \Delta u = \Delta\sigma$  ،  $\Delta\sigma' > 0$  ،  $\Delta u < \Delta\sigma$  ) و يتلاشى ضغط ماء المسام بالتصريف تدريجياً وتتلقى جزئيات التربة كامل الإجهاد (  $t = \infty$  )  $\Delta\sigma' = \Delta\sigma$  ،  $\Delta u = 0$  ) كما في الشكل (1-3) :



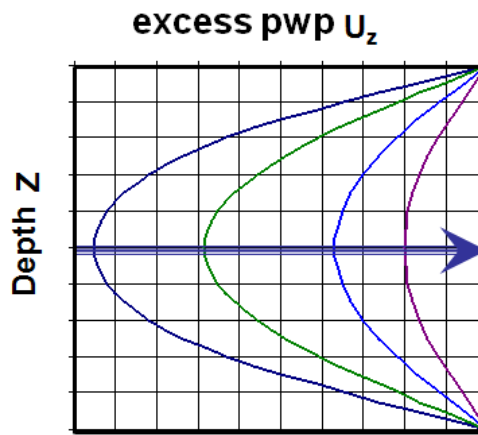
الشكل (1-3) التغيرات في ضغط ماء المسام والإجهادات الفعالة مع الزمن

أي نقصان في ضغط ماء المسام يقابله زيادة مساوية في الإجهادات الفعالة التي تؤدي إلى هبوط التربة ، ومع تزايد الزمن يستمر ضغط ماء المسام بالتناقص حتى يتلاشى كما يتوضح ذلك في الشكل (1-4) :



الشكل (1-4) تناقص ضغط ماء المسام مع الزمن وتزايد الإجهادات الفعالة

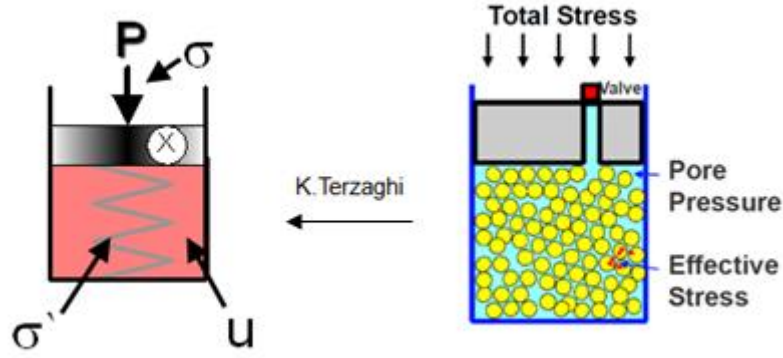
وهذه العمليات التدريجية لزيادة الإجهادات الفعالة في طبقة التربة ، بسبب الحمولة الإضافية ستؤدي إلى هبوط يعتمد على الزمن هو الإنضغاط الرشحي (التشديد). [1] , [11] ويكون ضغط ماء المسام للعيونة عند القاعدة والقمة يساوي صفر لأنهما حدود تصريف ، ويكون نقصان ضغط ماء المسام عند منتصف العينة هو الأخفض ، لأن جزيئات الماء يجب أن تنتقل من الوسط إلى القمة أو إلى القاعدة ، لتخرج خارج النظام أي أن ضغط ماء المسام يكون أعظمياً قرب منتصف العينة ، وبعد حوالي 24 ساعة ينخفض ضغط ماء المسام في المنتصف إلى الصفر ، حيث تنتقل هنا كامل الحمولة المطبقة الى جزيئات التربة كما في الشكل (1-5): [7]



الشكل (1-5) ضغط ماء المسام أعظمي في منتصف العينة

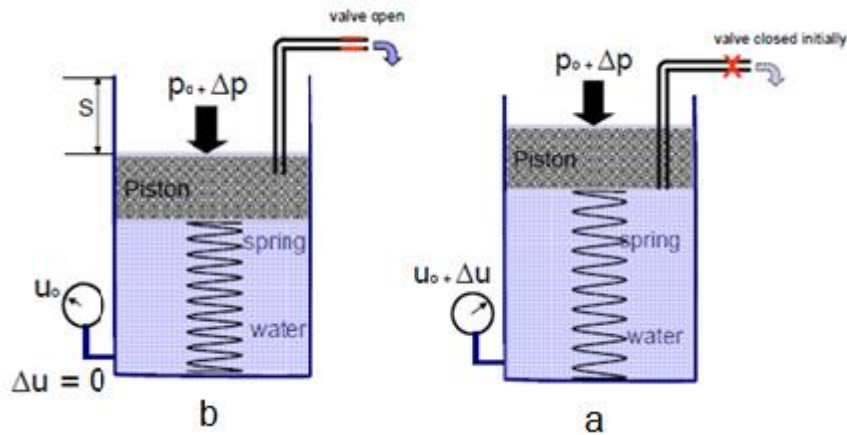
### 1-3- ميكانيكية الإنضغاط مع الزمن :

يمكن تمثيل إنضغاط التربة وفق نموذج ترزاكي بوعاء يحوي نابض ومكبس لتطبيق الحمولة يستند لقرص مسامي ، حيث يعبر سلوك النابض عن سلوك جزئيات التربة ، كما هو مبين في الشكل (1-6) :



الشكل (1-6) نموذج ترزاكي لتمثيل الإنضغاط في التربة

وعند ملء الوعاء بالماء وتطبيق الحمولة ، ينتقل الضغط أولاً إلى الماء ثم بعد زمن معين ينتقل إلى النابض ، وعند إغلاق مسامات القرص ( القرص العلوي دون ثقوب ) كما في الحالة a من الشكل (1-7) وتطبيق الحمولة ، عندها لا يحدث أي إنضغاط مهما كانت قيمة الحمولة ، حيث أنه في مثل هذه الحالة ينتقل الضغط كلياً للماء ، و الماء غير قابل للإنضغاط أما إذا فتحنا مسامات القرص العلوي كما في الحالة b من الشكل (1-7) ، نجد أن الضغط ينتقل تدريجياً إلى النابض ويحصل إنضغاط كما في الشكل (1-7): [16]



الشكل (1-7) ميكانيكية الإنضغاط في التربة حسب ترزاكي

وبالتالي نميز بين الضغط الفعال والضغط الحيادي حيث أن الضغط الفعال هو الضغط المؤثر في جزئيات التربة و يؤدي إلى تراص التربة أما الضغط الحيادي فهو الضغط المؤثر في الماء ولا يؤدي إلى أي إنضغاط ويكون الضغط الخارجي مساوياً لمجموع الضغط الفعال والضغط الحيادي. [18]

#### 4-1- الدراسة التجريبية لإنضغاط التربة : [5]

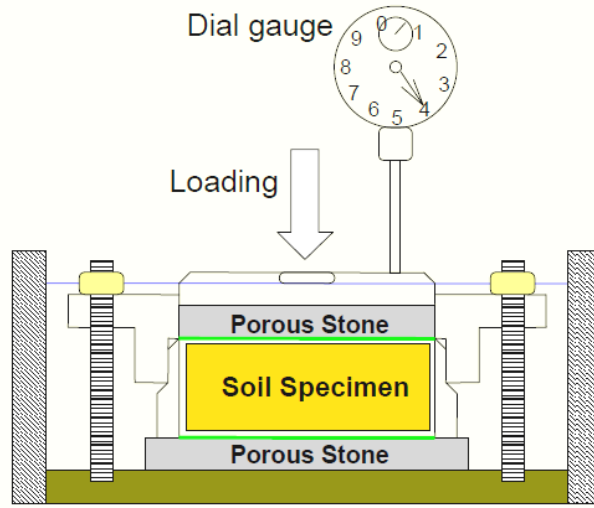
تجرى دراسة إنضغاط التربة تجريبياً باختبارها في جهاز الأدمتر المبين بالشكل (1-8) :



الشكل (1-8) جهاز الأدمتر

حيث يتم اختبار العينة بشكل محصور جانبياً ، أي دون وجود إمكانية التوسع الجانبي ومحملة محورياً بحمولات متزايدة حتى تلاشي ضغط ماء المسام الزائد ، وعند دراسة إنضغاط التربة تحت تأثير الحمولة الخارجية ، يجب أن يحذف تأثير جميع القوى الأخرى التي يمكن أن تؤثر فيها

لذلك اقترح دراسة إنضغاط التربة في شروط اشباعها المطلق بالماء ، للتخلص التام من القوى الشعرية ، حيث تغمر العينة وتحمل تبعاً للحمولة الموجودة في الواقع . وتتألف خلية الآدومتر من حلقة معدنية دائرية الشكل توضع داخلها عينة التربة المختبرة بعد إحاطتها من الأعلى والأسفل بورقتي نشاف بين قرصين مساميين ، وحلقة التشديد تكون مصنوعة من مادة لاتتفاعل كيميائياً مع التربة ، والوجه الداخلي ملمع أو مغطى بمادة قليلة الإحتكاك ، والأقراص المسامية مصنوعة كذلك من مادة لاتتفاعل مع التربة ، ويتدرج ناعم لمنع دخول التربة في المسامات ، ويجب تنظيف الأقراص المسامية بعد كل استعمال بالفرشاة وتغلى لمدة 10 دقائق على الأقل لإزالة جزيئات الغضار التي تخفض نفاذيتها ، وتتوضح خلية الآدومتر في الشكل التوضيحي (9-1) :

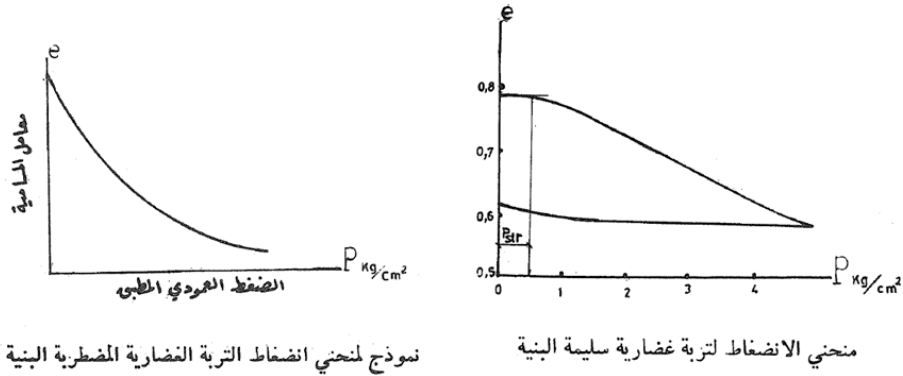


الشكل (9-1) شكل تخطيطي لخلية الآدومتر

وتوضع الحلقة التي داخلها العينة داخل علبة تملأ بالماء أثناء إجراء التجربة ، وتتراوح أبعاد عينة التربة في الآدومتر للقطر 5-10 cm وللارتفاع 1-3 cm وتوافق هذه الأبعاد الأبعاد الداخلية للحلقة ، وتطبق على العينة قوة عمودية ، ويقاس التشوه العمودي الناتج فيها بواسطة مؤشر قياس التشوه ، وتطبق الحمولات بشكل مندرج 0.25-0.5-1-2-3-4-6-8-10-14 كغ/سم<sup>2</sup> ، ويقاس التشوه الناتج عن كل حمولة بعد ثبات قيمته ، وقد تصل المدة الزمنية اللازمة لانتهاء التشوه الى مايزيد عن 24 ساعة اعتباراً من بدء زمن تطبيق الحمولة ، ووفقاً لتزراكي فإن كل تزايد في الضغط الخارجي المطبق على التربة الغضارية المشبعة بالماء يتبعه تغير معين لرطوبة التربة.



ونستفيد من التجربة في تقدير الهبوط للمنشأ ، والطريقة الأكثر استخداماً لتمثيل نتائج التجربة هي تمثيل العلاقة بين معامل المسامية والضغط المطبق ، حيث يتألف منحنى إنضغاط التربة ذات البنية السليمة من جزأين الأول جزء قريب من المستقيم ، ميله طفيف عندما الضغط المطبق لايزيد عن متانة بنية التربة ، والثاني بانحناء واضح حيث يكون تغير معامل المسامية كبير وإذا خربنا البنية وأجرينا تجربة الإنضغاط على عينة أعيد تشكيلها الطبيعي بعد تخرب بنيتها فتزداد عندئذ الإنضغاطية وانحناء منحنى الإنضغاط كما في الشكل (10-1) : [18]



الشكل (10-1) منحنى إنضغاط التربة

ويلاحظ الشكل اللوغاريتمي لمنحنيات الإنضغاط في الترب شديدة الإنضغاط ، أوعند تغير قيم الضغوط في مجال كبير أما عند تغير الضغط يقيم صغيرة ضمن  $1-3 \text{ kg/cm}^2$  يمكن رسم منحنى الإنضغاط بالإحداثيات الديكارتية .

ويجب أن يتحقق في الإختبار على الإنضغاط :

1- أن لاتزيد نسبة ارتفاع العينة الى قطرها عن  $4/1$  وذلك لكي لاتؤثر قوى الإحتكاك الناتج بين التربة والحلقة المعدنية على التجربة .

2- يتم غمر العينة وإشباعها بالماء في جهاز الآدومتر مع عدم السماح للتربة بالإنفخاخ .

3- يتم اختبار التربة على الإنضغاط على عينات سليمة البنية ، وإذا لم يتمكن من أخذ العينات السليمة تجري الإختبار على عينات مخربة البنية، تحضر في المخبر بحيث تعطى رطوبة ووزن حجمي معينين .

4- يتم تخزين العينات بحيث لاتفقد رطوبتها ويزمن تخزين أصغري .

5- عند تحضير العينات يجب أخذ الاحتياط لتقليل التخریب والتغيرات في الرطوبة والكثافة وكذلك تجنب الرص والاهتزازات. [5]

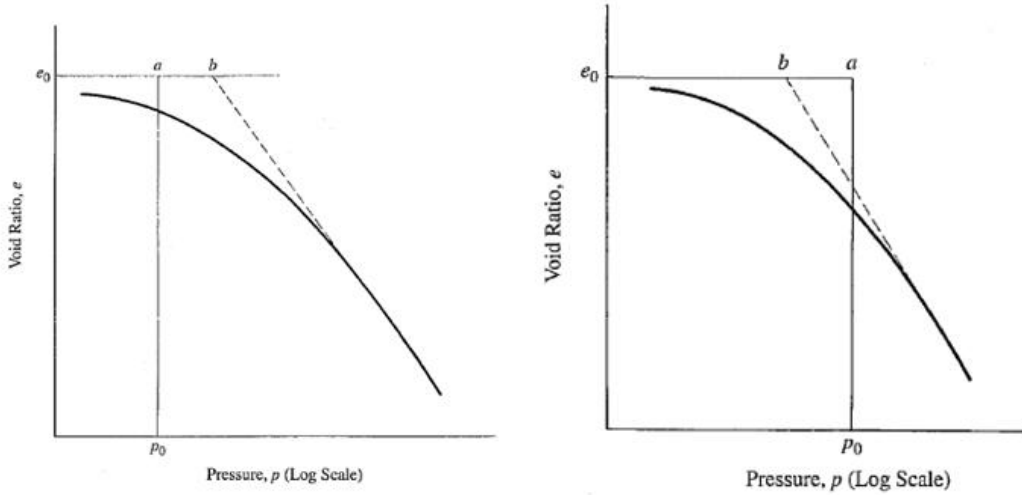
### 5-1- الغضار المشدد طبيعياً و الغضار مسبق التشديد :

عند دراسة إنضغاط التربة يجب التمييز بين الغضار المشدد طبيعياً و الغضار مسبق التشديد  
1-5-1- الغضار المشدد طبيعياً : لا تكون بنية الغضار معرضة مسبقاً لأي إجهاد أكبر من الإجهاد الحالي الفعال المؤثر وقت الدراسة ، ويعبر عن ذلك في الواقع بأن ارتفاع التربة فوق البنية الغضارية المدروسة ، (وما ينجم عنه من وزن تربة فوق البنية المدروسة والذي يسبب الضغط) قد كان أقل أو أكثر ثباتاً مع مرور الزمن .

2-5-1- الغضار المسبق التشديد : بنية الغضار تكون خاضعة لإجهاد أكبر من الإجهاد الحالي في وقت ماسبق ، ويحدث ذلك مثلاً من جراء كون الطبقة الحالية فوق العينة المدروسة أقل مما كان عليه في الماضي ، وقد يحدث ذلك في حالات الحت والتآكل في القشرة الأرضية، فيكون الارتفاع الحالي للطبقة فوق الغضار المدروس أقل مما هو عليه قبل حدوث الحت ، ولابد من ملاحظة أن الغضار مسبق التشديد أقل إنضغاطية عموماً ، وبالتالي فإن حساب هبوط التشديد للغضار يختلف بعض الشيء فيما إذا كان الغضار طبيعي أو مسبق التشديد ، وعندما تكون التربة مسبق التشديد تكون أقوى وأقل إنضغاط من التربة المنضغطة طبيعياً . [ 7 ] ، [ 4 ]

### 3-5-1- تحديد فيما إذا كان الغضار مشدد طبيعياً او مسبق التشديد :

كما في الشكل ( 1-11 ) نحدد الضغط الحالي المؤثر  $P_0$  الناجم عن الإجهاد الفعال (وزن التربة) فوق منتصف ارتفاع الطبقة الغضارية المدروسة على المحور الأفقي .



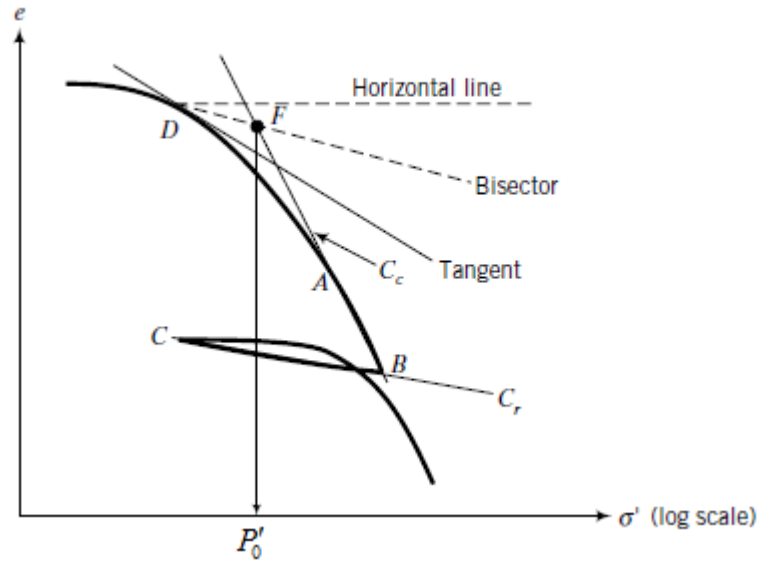
الشكل (1-11) تحديد فيما إذا كان الغضار مشدد طبيعياً او مسبق التشديد

ونحدد قيمة  $e_0$  معامل المسامية الأولي على المحور المعامد ، ويتقاطع قيمهما على المخطط نحصل على النقطة  $a$  ويرسم المماس من أسفل ويمين المنحني للأعلى حتى يتقاطع مع الخط الأفقي المرسوم من  $a$  ولتكن نقطة التقاطع  $b$  الآن إذا كانت النقطة  $b$  على يسار النقطة  $a$  فإن الغضار مشدد طبيعياً ( Peck et al ,1974 ) أما إذا كانت على يمين النقطة  $a$  فالغضار مسبق التشديد . [2]

- وإذا وجد أن الغضار المختبر مسبق التشديد ، فمن الضروري تحديد الضغط الأعظمي المطبق على الطبقة الغضارية المشددة  $P'_0$  (من أجل حساب الهبوطات الناجمة عن التشديد).

#### 4-5-1- تحديد الضغط الأعظمي المسبق $P'_0$ : [9]

إن الإجراء التالي والمطور من قبل كاساغراندي 1936 يمكن استخدامه لتحديد قيمة  $P'_0$  كما في الشكل (1-12) :

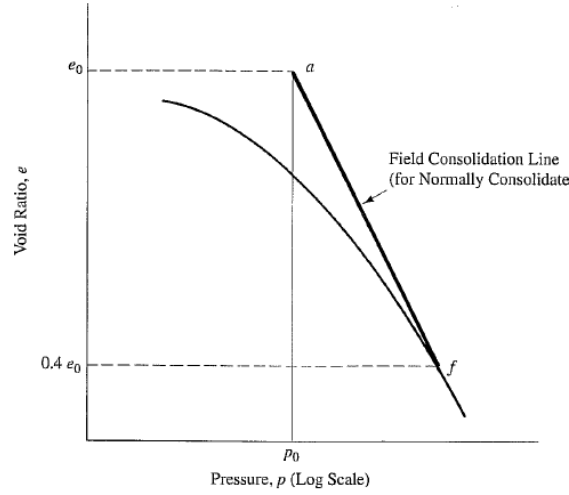


الشكل (1-12) تحديد الضغط الأعظمي المسبق  $P'_0$

- ١- نعين على المنحني نقطة تقع على منطقة التقوس الأعظمي (أكبر انحناء) ، وهذا موضع بالنقطة  $D$  .
- ٢- ومن النقطة  $D$  نرسم مستقيمين الأول أفقي والآخر مماس للمنحني السابق .
- ٣- نرسم مستقيم منصف للزاوية الحاصلة بين المستقيمين السابقين .
- ٤- نحدد نقطة تقاطع المستقيم الحامل للنهاية السفلية للمنحني مع المنصف بالنقطة  $F$  .
- ٥- الإحداثي الأفقي للنقطة  $F$  يمثل ضغط التشديد المسبق  $P'_0$  .
- ٦- نحدد نسبة التشديد المسبق (OCR) من النسبة :  $OCR = \frac{P'_0}{P_0}$  :

$P'_0$  أعلى ضغط تعرضت له التربة ،  $P_0$  الضغط الحالي الذي توجد عليه التربة في الطبيعة. [9]

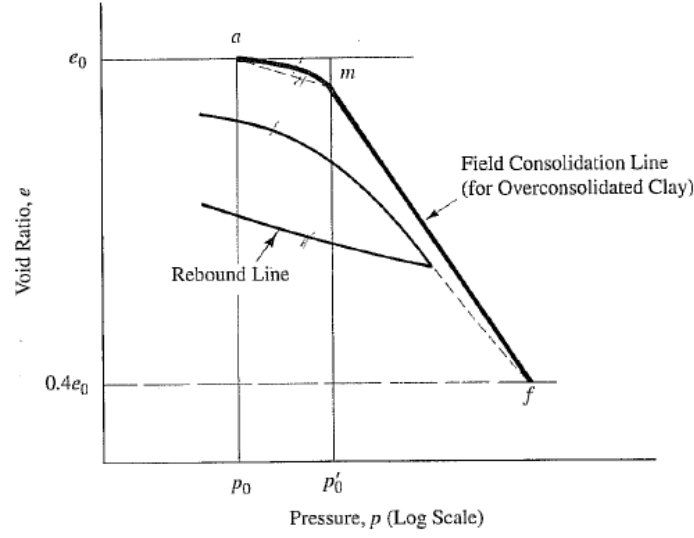
إن المنحني  $e - \log p$  الذي يمثل العلاقة بين الضغط المطبق ومعامل المسامية يستخدم أيضاً لحساب الهبوطات ، وبالرغم من أنه يتم استخدام عينات غير مخربة في التجربة، لكن من غير الممكن مطابقة هذه التجارب ونتائجها مع أرض الواقع في الحقل ولذلك تم تطوير المنحني من أجل التشديد الحقلي ، فمن أجل الغضار المشدد طبيعياً إنطلاقاً من منحني المخبر المعروف  $e - \log p$  وذلك حسب Schmertmann, 1955 نقوم بالخطوات الموضحة في الشكل (1-13) : [2]



الشكل (1-13) خط التشديد الحقلي للغضار المشدد طبيعياً

- ١ حدد النقطة f الموافقة لـ  $(0.4 * e_0)$  .
- ٢ حدد النقطة a التي توافق الضغط الحالي الذي توجد عليه التربة في الطبيعة  $P_0$  .
- 3- نرسم من النقطة f خط مستقيم يصل إلى النقطة a لنحصل على خط التشديد الحقلي .  
أما من أجل حالة الغضار المسبق التشديد نقوم بالخطوات الموضحة في الشكل (1-14) :
- ١ حدد النقطتين f, a كما سبق ونرسم من النقطة a خط موازي لخط ارتداد العينة ( تفريغ التحميل) .
- ٢ نرسم خط شاقولي من النقطة  $P'_0$  .
- ٣ حدد نقطة التقاطع m .
- ٤ وصل النقطة m مع النقطة f بخط مستقيم ونصل بين النقطتين a و m بخط منحني من نفس شكل المنحني الأصلي .

5- إن الخط الواصل بين  $f$  و  $m$  و المنحني الواصل بين  $a$  و  $m$  يعطيان خط التشديد الحقلي للغضار مسبق التشديد (Schmertmann, 1953).



الشكل (1-14) خط التشديد الحقلي للغضار المسبق التشديد

إن ميل خط التشديد الحقلي يدعى بدليل التشديد  $C_c$  ويحسب كما يلي :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2 - \log p_1} = \frac{e_1 - e_2}{\log(p_2 / p_1)}$$

وقد أظهر العالم سكيبتون 1944 أن دليل التشديد للغضار المشدد طبيعياً يمكن حسابه إنطلاقاً من قيمة حد السيولة كنسبة مئوية بشكل تقريبي وفق المعادلة :  $C_c = 0.009(LL - 10)$

### 6-1- حساب الهبوط الناتج عن التشديد الأولي في الغضار :

إن أساس حساب الهبوط هو معرفة مقدار تغير معامل المسامية بتغير الضغط المؤثر ، ولذلك يكون دقة تحديد تغير معامل المسامية يؤثر بشكل كبير على دقة حساب الهبوط ، ويمكن أن نحدد هبوط التربة :  $S_i = m_v \cdot h \cdot p$  وذلك عندما تكون الطبقة الترابية مضغوطة بضغط قيمته واحدة في جميع نقاطها كما هو الحال في العينة المضغوطة بضغط في خلية الأدومتر . [18] وعندما نحدد منحني التشديد الحقلي من أجل تربة غضارية معطاة يمكن تحديد الهبوط الأولي

$$[2] \quad S_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \quad \text{الكلي المتوقع} :$$

$S_c$  الهبوط الناتج عن التشديد الأولي ،  $e_0$  معامل المسامية البدائية للتربة في الموقع .  
 $e$  معامل المسامية للتربة التي تتوافق مع الإجهاد الكلي ،  $p$  المطبق في منتصف طبقة الغضار المشددة ،  $H$  سماكة طبقة الغضار المشددة ونحصل عليها من التحريات الحقلية .

- ونحصل على قيمة  $e_0$  من تجربة التشديد المخبرية ، وقيمة  $e$  من منحنى التشديد الحقلي الذي يعتمد على الإجهاد الكلي المطبق في منتصف طبقة الغضار المشددة (الإجهاد الناتج عن الوزن الذاتي الفعال مضافاً إلى الإجهاد الإضافي الناتج عن المنشأة) .

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log(P_1/P_2)} : \text{من أجل الغضار المشددة طبيعياً يعطى دليل الإنضغاط كما يلي}$$

حيث  $P_1, e_1$  و  $P_2, e_2$  من أجل نقطتين من منحنى التشديد ،  $P_1$  الإجهاد الفعال الناتج عن الوزن الذاتي في منتصف طبقة الغضار وليكن  $P_0$  و  $e_1$  معامل المسامية البدائية في الموقع ،  $P_2$  الإجهاد الكلي المطبق في منتصف طبقة الغضار ( $P_0 + \Delta P$ ) ،  $e_2$  معامل المسامية في التربة الموافقة للإجهاد الكلي المطبق في منتصف طبقة الغضار .

$$C_c = \frac{e_0 - e}{\log(P/P_0)}$$

$$e_0 - e = C_c [\log(P/P_0)]$$

وبالتالي ينتج :

$$S_c = \frac{C_c [\log(P/P_0)]}{1 + e_0} (H)$$

أو :  $S_c = C_c \left( \frac{H}{1 + e_0} \right) \log \frac{P}{P_0}$  :  $C_c$  دليل الإنضغاط وهو ميل منحنى التشديد و  $P$  الإجهاد الكلي المطبق في منتصف طبقة الغضار  $P = P_0 + \Delta P$  ،  $P_0$  الإجهاد الفعال الناتج عن الوزن الذاتي في منتصف طبقة الغضار ،  $\Delta P$  الإجهاد الإضافي الصافي في منتصف طبقة الغضار والذي ينتج عن المنشأة .

- من أجل الغضار المشددة مسبقاً يكون الجزء من منحنى التشديد المحصور بين  $P_0$  ،  $P_0$  (الخط a-m) منحنى الإنضغاط المسبق و تبعاً للتجارب المخبرية يكون موازي تقريباً لخط الإرتداد وميله يسمى دليل الإنتفاخ  $C_s$  .

$$e_0 - e = C_s [\log(P/P_0)] : P \leq P_0$$

$$S_c = C_s \left( \frac{H}{1 + e_0} \right) \log \frac{P}{P_0}$$

ويكون عادة  $C_s$  أقل من دليل الإنضغاط بحوالي 20%

$$- \text{ من أجل } P > P_0 : S_c = C_s \left( \frac{H}{1 + e_0} \right) \log \frac{P_0}{P_0} + C_c \left( \frac{H}{1 + e_0} \right) \log \frac{P}{P_0}$$

$C_s$  ميل منحنى الإرتداد ( دليل الإنتفاخ ) . و  $P$  الإجهاد الكلي المطبق في منتصف طبقة الغضار  $P = P_0 + \Delta P$  ،  $P_0$  ضغط التشديد المسبق ،  $P_0$  الإجهاد الفعال الناتج عن الوزن الذاتي في منتصف طبقة الغضار ،  $\Delta P$  الإجهاد الإضافي الصافي في منتصف طبقة الغضار .

## 7-1-1- نظرية الإنضغاط الرشحي :

تعتمد دراسة الهبوط مع الزمن على نظرية الإنضغاط الرشحي المقترحة من قبل العالم كارل ترزاكي 1925، وتعتمد نسبة الهبوط مع الزمن من أجل طبقة من الغضار على عوامل تتضمن خواص الإنضغاطية ومعامل المسامية في الموقع والنفاذية ، وتأثير كل هذه العوامل يمكن أن نجعله في عامل واحد يدعى معامل الإنضغاط الرشحي  $C_v$  يتضمن سرعة حدوث عمليات التشديد و يمكن التعبير عنه بالعلاقة التالية (Terzaghi et al,1996) : [2]

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v}$$

$k$  معامل النفاذية .

$\gamma_w$  الوزن الحجمي للماء .

$m_v = \frac{a_v}{1+e}$  معامل الإنضغاط الحجمي :

$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p}$  م عامل الإنضغاطية .

$e$  معامل المسامية وبالتعويض ينتج :

$$C_v = \frac{k \cdot (1+e)}{a_v \cdot \gamma_w}$$

و يمكن حساب  $k, e, a_v$  بشكل مستقل وتبديلها في المعادلة السابقة لنوجد  $C_v$  ، وغالباً نحسب قيمة  $C_v$  مباشرة من النتائج الحقلية لتجربة التشديد .

### 1-7-1-1- فرضيات نظرية الإنضغاط الرشحي حسب ترزاكي :

تم الإعتماد على الفرضيات التالية من أجل الإنضغاط الرشحي في الحالة الخطية : [4]

- التربة متجانسة و مشبعة كلياً .
- تعتبر الجزيئات الصلبة والماء غير قابلين للتشوه .
- يحدث الرشح والإنضغاط في الإتجاه الشاقولي فقط وهو اتجاه تطبيق الحمولة .
- يحدث إنضغاط التربة في شروط عدم إمكانية توسع ها الجانبي ، ويكون الإنضغاط بسبب التغير في الحجم فقط بسبب خروج الماء من المسام .
- قانون دارسي محقق من أجل جميع الميول الهيدروليكية .
- قيمة معامل النفاذية ثابتة خلال عملية الإنضغاط وبالتالي معامل الإنضغاط الرشحي ثابت خلال التشديد .
- الضغط المسامي مساوي للصفر في بدء الإنضغاط .
- يعتبر توزيع الإجهادات في التربة منتظماً .

- لا يوجد في بنية التربة متانة أي أن الضغط الخارجي p المطبق على التربة ينتقل مباشرة الى العناصر المشكلة لها.

- يحدث الرشح وكذلك الإنضغاط في الحالة الخطية أي بالإتجاه الشاقولي .

### 2-7-1- سلبيات نظرية ترزافي للإنضغاط الرشحي :

1- تقدم نظرية ترزافي طريق بسيط وسهل من أجل محاكاة سلوك تشديد الغضار الناعم ولكنها لا تصف السلوك الحقيقي بدقة كاملة ، حيث تبين في العقود الأخيرة من خلال نتائج التجارب والتحريات الحقلية أن سلوك التشديد الحقيقي يختلف عن نظرية ترزافي التي تفرض قيمة وحيدة لمعامل الإنضغاط الرشحي  $C_v$  . [6]

2- تفترض نظرية ترزافي أن معامل النفاذية الشاقولي ثابت ومعامل الإنضغاطية ثابت ، لكن خلال تقدم الإنضغاط يقل حجم المسام ، وبالتالي سنقل النفاذية وبالتالي النفاذية غير ثابتة وكذلك معامل الإنضغاطية يتغير مع مستوى الإجهاد ، وبالتالي معامل الإنضغاط الرشحي  $C_v$  غير ثابت . [3]

3- في بعض الترب الغضارية التي تحوي مواد عضوية مثل (البيت) يتغير معامل النفاذية بشكل كبير عند التشديد وتغير الإجهاد الفعال لذلك لا تطبق نظرية ترزافي . [10] ، [3]

4- يمكن أن يؤثر الإنضغاط الثانوي على الإنضغاط الرشحي من أجل الحمولات التالية المتزايدة. [10]

### 3-7-1- المعادلة التفاضلية للإنضغاط الرشحي حسب نظرية ترزافي :

- وتطبيق نظرية الإنضغاط الرشحي لترزافي ممكن استنتاج المعادلة التفاضلية للإنضغاط الرشحي : [18]

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial t} = C_v \cdot \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial Z^2}$$

$\sigma_z$  الضغط الفعال المؤثر في جزيئات التربة .

$$C_v = \frac{K}{m_v \cdot \gamma_w} \text{ معامل الإنضغاط الرشحي .}$$

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0} = \frac{\Delta e}{(1+e_0)(\Delta p)} \text{ معامل الإنضغاط الحجمي .}$$

- وبحل المعادلة التفاضلية السابقة للإنضغاط الرشحي نحصل على :

1- الضغط الفعال  $\sigma_z$  المؤثر في جزيئات التربة (عند أي زمن t خلال فترة الإنضغاط

الرشحي وعند أي عمق Z) ويحسب من المعادلة التالية :



$$\sigma'_z = p \left[ 1 - \frac{4}{\pi} \sin \frac{\pi z}{2h} . e^{-N} - \frac{4}{3\pi} \sin \frac{3\pi z}{2h} . e^{-9N} - \frac{4}{5\pi} \sin \frac{5\pi z}{2h} . e^{-25N} - \dots \right]$$

$$\left[ \frac{4}{(2m+1)\pi} . \sin \frac{(2m+1)\pi z}{2h} . e^{-(2m+1)^2 N} - \dots \right]$$

$$N = \frac{\pi^2 . C_v . T}{4 . h^2}$$

e أساس اللوغاريتم الطبيعي ، m عدد صحيح موجب

2- الضغط المسامي u الناتج عن تطبيق الضغط الخارجي (عند أي زمن خلال فترة الإنضغاط الرشحي) .

الهبوط مع الزمن ويحسب من المعادلة التالية :

$$S_t = S \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \left( e^{-N} + \frac{1}{9} . e^{-9N} + \frac{1}{25} . e^{-25N} + \dots \right) \right]$$

$$N = \frac{\pi^2 . C_v . T}{4 . h^2}$$

( S الهبوط النهائي ، h طول مسار رشح الماء ) .

### 7-1- نسبة التشديد أو درجة الهبوط :

عند إقامة منشأة على طبقة من الغضار المشبع ، في البداية يقاوم الماء الموجود في مسامات التربة الحمولة لأن الماء بشكل أساسي غير قابل للإنضغاط بالمقارنة مع تراكيب التربة الأخرى ويعرف الضغط في الماء الناتج عن الحمولة المطبقة بالضغط الهيدروستاتيكي الزائد (ضغط ماء المسام) ، وعندما يخرج الماء من المسامات الموجودة في التربة تنتقل الحمولة تدريجياً إلى حبيبات التربة ، وحالما يتم تصريف الماء يتناقص حجم التربة (تتضغظ التربة) بمقدار مساوي لحجم الماء المصروف ، وينتج هبوط في المنشأ المشيد على التربة ، وتعرف هذه العمليات بالتشديد الأولي ، وعندما يخرج كامل الماء الموجود في المسامات تصبح كامل الحمولة المطبقة تنتقلها حبيبات التربة ، ويصبح ضغط ماء المسام معدوم ونصل لنهاية عمليات التشديد ، ونكون وصلنا إلى نهاية التشديد الأولي 100% ، ومن أجل نسبة أقل من ذلك تكون عمليات الهبوط

والإنضغاطية مستمرة ، ومعدل نسبة التشديد ( درجة التشديد ) خلال سماكة طبقة التربة المنضغطة ترتبط مع ضغط ماء المسام بالعلاقة : [2]

$$U\% = \left( \frac{U_i - U_t}{U_i} \right) (100\%) = (1 - U_t / U_i) (100\%)$$

$U\%$  نسبة التشديد .

$U_t$  ضغط ماء المسام في طبقة التربة المشددة حسب الزمن .

$U_i$  ضغط ماء المسام .

وكذلك يمكن تحديد نسبة التشديد من المعادلة :

$$U\% = S_t / S_c$$

$S_t$  الهبوط في طبقة الغضار حسب الزمن عندما تحدد نسبة التشديد .

$S_c$  الهبوط الكلي في طبقة الغضار بسبب التشديد الأولي .

و يمكن أن يستخدم عامل الزمن  $T_v$  لنحسب النسبة حيث ضغط ماء المسام يتناقص إلى الزمن المطلوب من أجل حدوث نسبة ما للتشديد ، حيث اقترح العالم تايلور التقريبات التالية من أجل

تغير عامل الزمن  $T_v$  مع نسبة التشديد  $U\%$  كما يلي :

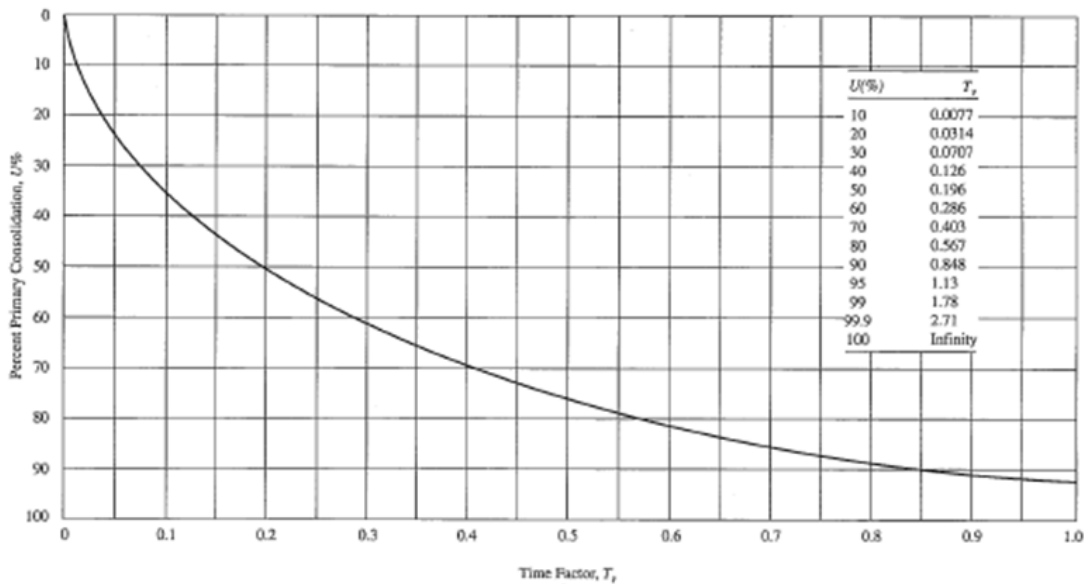
- من أجل  $U\% < 60\%$  :

$$T_v = (\pi/4)(U\%/100\%)^2$$

- من أجل  $U\% > 60\%$  :

$$T_v = 1.781 - 0.933 \cdot \log(100 - U\%)$$

ويوضح الشكل (1-15) التغير في عامل الزمن  $T_v$  مع نسبة التشديد ( $U\%$ ) :



الشكل (1-15) العلاقة بين عامل الزمن  $T_v$  ونسبة التشديد  $U\%$

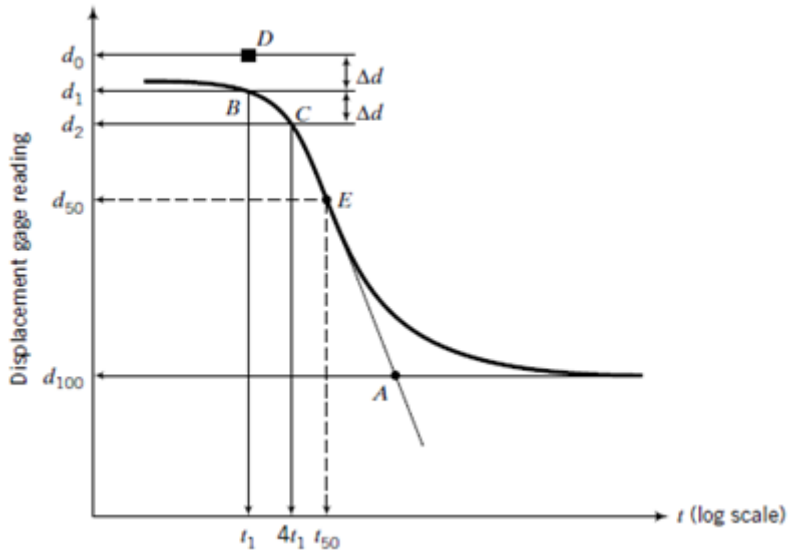
- وتعتمد نسبة التشديد من أجل تربة متجانسة على عامل نفاذيتها ، وطول مسار التصريف (مسار التصريف هو المسافة لأطول طريق شاقولي مأخوذ من قبل الجزيئة لتخرج من التربة ) فالترية التي نفاذيتها منخفضة ستأخذ زمن أطول لتصريف الماء ، وكلما كان مسار التصريف أقصر يحدث التشديد بزمن أقصر ، ويعبر حجم ماء المسام الذي يتم تصريفه من التربة عن تغير حجم التربة الناتج من تطبيق الحمولة الخارجية . [9]

### 1-8- تحديد معامل الإنضغاط الرشحي $C_v$ :

من المهم تحديد بدء وانتهاء الإنضغاط الرشحي ويفيد ذلك في حساب مواصفات الإنضغاط مع الزمن ، وأهمها معامل الإنضغاط الرشحي  $C_v$  حيث يوجد عدة طرق لتحديد معامل الإنضغاط الرشحي  $C_v$  منها :

#### 1-8-1 طريقة لوغاريتم الزمن (طريقة كاساغراندي) : [9]

نرسم العلاقة بين قراءات التشوه الشاقولي مع لوغاريتم الزمن كما في الشكل (1-16) :



الشكل (1-16) طريقة لوغاريتم الزمن لحساب  $C_v$

- تعيين بدء الإنضغاط الرشحي نظرياً  $d_0$  كما يلي:

- 1- نحدد نقطتين B , C في الجزء العلوي من منحنى التشديد تتوافقان مع الأزمنة  $t_1, t_2$  بحيث  $(t_2 = 4 * t_1)$  .
- 2- نحدد الفرق بينهما شاقولياً وليكن  $\Delta d$  .
- 3- نحدد النقطة D (فوق النقطة B بمقدار  $\Delta d$ ) .

4- نرسم خط أفقي منها يتقاطع مع المحور الشاقولي بالنقطة  $d_0$  التي توافق بدء الإنضغاط الرشحي نظرياً .

-تعيين نهاية الإنضغاط الرشحي  $d_{100}$  :

1-نرسم مماسين أحدهما للجزء الذي يمثل الإنضغاط الرشحي والآخر للجزء الذي يمثل الإنضغاط الثاني .

2-نحدد نقطة تقاطع المماسين A .

3-نرسم خط أفقي م ن A يتقاطع مع المحور الشاقولي بالنقطة  $d_{100}$  التي توافق نهاية الإنضغاط الرشحي .

- يمثل الإنضغاط الثاني ماتبقى من منحنى التشديد بعد نهاية الإنضغاط الرشحي.

$$C_v = \frac{T_v \cdot h^2}{t}$$

$T_v$  عامل الزمن ليس له وحدة قياس تعطى في جداول خاصة حسب نسبة التشديد .

$h$  طول مسار رشح الماء في العينة .

$t$  الزمن الموافق لنسبة التشديد .

فمن أجل نسبة تشديد 50% :

$$C_v = \frac{0.197 \cdot h^2}{t_{50}}$$

حيث  $t_{50}$  الزمن الموافق لـ  $d_{50} = \frac{d_0 + d_{100}}{2}$

٢ -8-1- طريقة الجذر التربيعي للزمن (طريقة تايلور) : [9]

١ -نرسم العلاقة بين قراءات التشوه الشاقولي مع الجذر التربيعي للزمن كما في الشكل (1-17) .

٢ -نرسم المماس OA للجزء الأول من المنحنى .

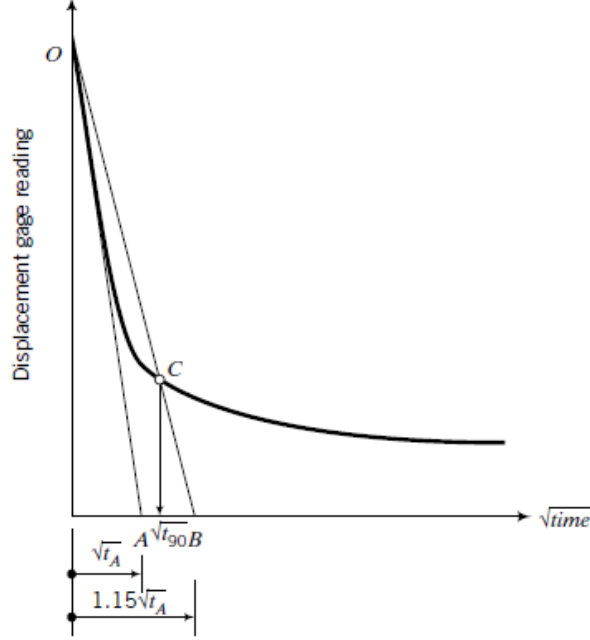
٣ -نرسم المستقيم OB بحيث (  $OB = 1.15 \cdot OA$  ) .

٤ -يتقاطع المستقيم OB مع منحنى التشديد بالنقطة C الموافقة لـ 90% من التشديد .

٥ -ويمثل الإنضغاط الثاني ماتبقى من منحنى التشديد بعد نهاية الإنضغاط الرشحي 100% .

٦ - من أجل نسبة تشديد 90% :  $C_v = \frac{0.848 \cdot h^2}{t_{90}}$

وتتطلب طريقة تايلور أخذ قراءات التشوه خلال فترات زمنية أقصر من الفترات المعتمدة في طريقة كاساغراندي وذلك للحصول على الجزء الخطي من منحنى الإنضغاط مع الزمن .



الشكل (1-17) طريقة جذر الزمن لحساب  $C_V$

### ٣ 1-8- الطريقة الحسابية : [4]

نأخذ القراءتين ( $d_1$  ,  $d_2$ ) والأزمنة الموافقة ( $t_1$  ,  $t_2$ ) في مراحل أولية من التشديد (قبل حصول 53% من التشديد) ، ونأخذ القراءة ( $d_3$ ) والزمن الموافق  $t_3$  وذلك بعد حصول نسبة تشديد أكبر من السابقة .

$$d_0 = \frac{d_1 - d_2 \sqrt{\frac{t_1}{t_2}}}{1 - \sqrt{\frac{t_1}{t_2}}} \quad 1- \text{تعيين بدء الإنضغاط الرشي } d_0 :$$

2- تعيين نهاية الإنضغاط الرشي  $d_{100}$  :

$$d_{100} = d_0 - \frac{d_0 - d_3}{\left\{ 1 - \left[ \frac{(d_0 - d_3)(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})}{(d_1 - d_2)\sqrt{t_3}} \right]^{5.6} \right\}^{0.179}}$$

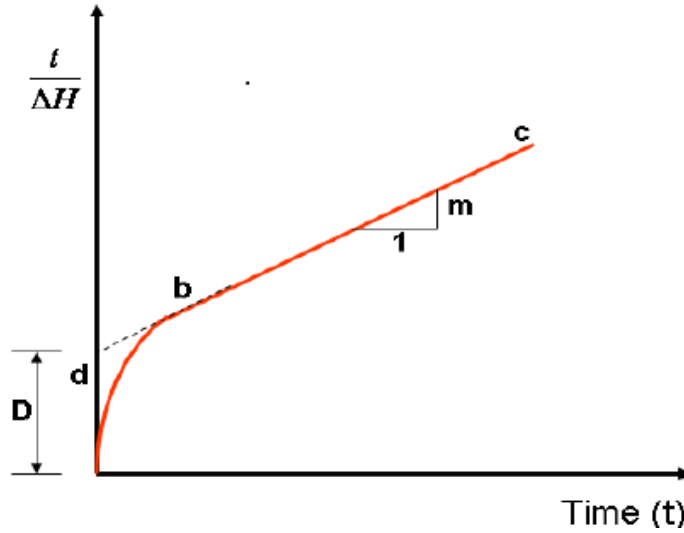
3- حساب معامل الإنضغاط الرشحي :

$$C_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_1 - d_2 \cdot h}{d_0 - d_{100} \sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \right)^2$$

$h$  أطول مسار للتصريف ،  $e_L$  معامل المسامية عند حد السيولة  $G_s \left( \frac{LL\%}{100} \right)$

#### 4-8-1- طريقة القطع الزائد المستطيل ( 1985 ) : [4]

نرسم نتائج تجربة التشديد على المخطط الذي محوره الأفقي الزمن  $t$  والمحور الشاقولي الزمن مقسوماً على تشوه العينة في نفس الزمن  $\frac{t}{\Delta H_t}$  كما في الشكل (1-18):



الشكل (1-18) طريقة القطع الزائد المستطيل لحساب  $C_v$

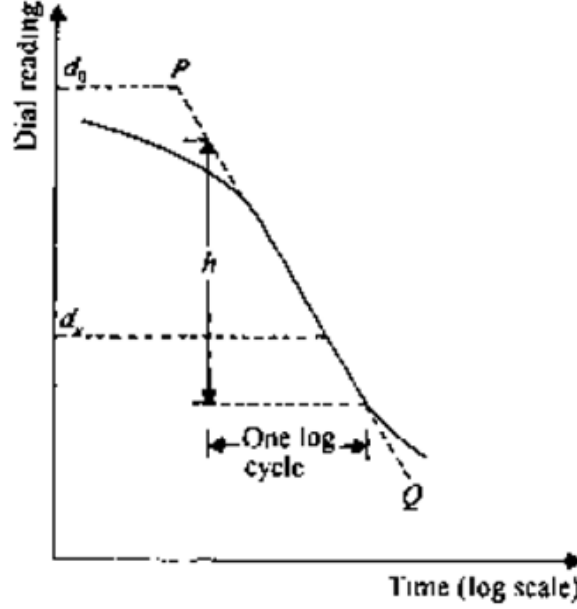
- 1- نرسم المستقيم bc ونمدده ليقطع المحور الشاقولي بالنقطة d ونحدد المسافة D .
- 2- نحدد ميل المستقيم bc وليكن m .

3- نحسب  $C_v$  كما يلي :  $C_v = 0.3 \left( \frac{m \cdot h^2}{D} \right)$

حيث  $h$  أطول مسار للتصريف .

### 1-8-5- طريقة الميل الأعظمي: [4]

كما في طريقة كاساغراندي نرسم العلاقة بين قراءات القرص للتشوه الشاقولي مع لوغاريتم الزمن (قراءات القرص على المحور الشاقولي بمقياس عادي والزمن على المحور الأفقي بمقياس لوغاريتمي) كما في الشكل (1-19):



الشكل (1-19) طريقة الميل الأعظمي لحساب  $C_V$

وتعيين بدء الإنضغاط الرشي نظرياً  $d_0$  يتطابق مع الطريقة المتبعة في كاساغراندي حيث نرسم المستقيم PQ (المماس للجزء السفلي من منحنى الإنضغاط الرشي) ونوجد ميل المستقيم PQ وليكن  $\kappa$ .

$$d_u = d_0 + \frac{\kappa}{0.688} \cdot U_{av} \quad U_{av}: \text{درجة تشديد}$$

ومن المنحني يمكن تحديد الزمن الموافق لأي قراءة  $d_u$  وتطبق هذه الطريقة بشكل عام من أجل منحنيات التشديد التي ليس لها شكل نموذجي.

### 1-8-6- علاقات تجريبية: [4]

من أجل حساب معامل الإنضغاط الرشي لتربة غضارية مشددة طبيعياً اقترحت العلاقة التجريبية التالية:

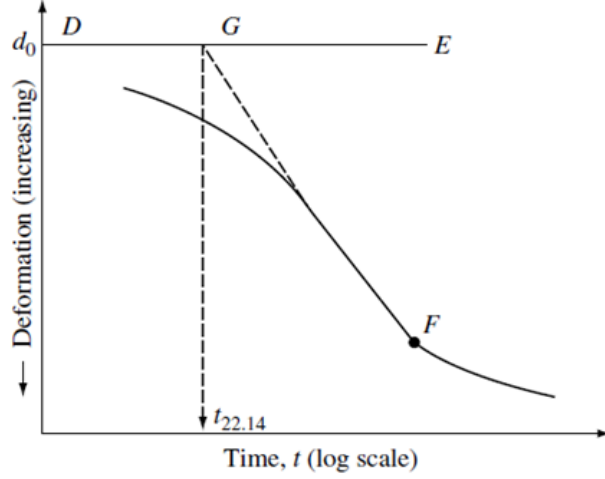
$$C_V = \left[ \frac{1 + e_L (1.23 - 0.276 \log \sigma'_0)}{e_L} \right] \left[ \frac{10^{-3}}{(\sigma'_0)^{0.353}} \right]$$

$C_V$ : cm<sup>2</sup>/sec ،  $\sigma'_0$  ضغط التشديد المسبق ، KN/m<sup>2</sup> ،  $e_L$  معامل المسامية عند حد

$$e_L = \left( \frac{LL\%}{100} \right) G_s \quad \text{السيولة ويساوي}$$

## ٧ 8-1 - طريقة لوغاريتم الزمن - المرحلة البدائية: [4]

وهي توسيع لطريقة لوغاريتم الزمن لكاساغراندي التي تستخدم الجزء السفلي من منحنى التشديد بينما هذه الطريقة تستخدم الجزء العلوي ، ويتم تعيين بدء الإنضغاط الرشحي  $d_0$  بنفس الطريقة المتبعة في لوغاريتم الزمن كما في الشكل (1-20) :



الشكل (1-20) لوغاريتم الزمن - المرحلة البدائية لحساب  $C_V$

نرسم خط أفقي DE يمر من  $d_0$  ، ثم نرسم مماس يمر من نقطة الإنحناء F ، فيتقاطع المماس مع الخط DE في النقطة G ، ثم نحدد الزمن t الموافق للنقطة G الذي هو موافق للزمن بنسبة التشديد  $U_{av} = 22.14\%$  ، وهذه الطريقة تعطي القيم الأقرب للقيم الحقيقية من طريقة لوغاريتم الزمن وجذر الزمن .

وبشكل عام تختلف قيم معامل الإنضغاط الرشحي المحسوبة من الطرق المختلفة ، حيث تعطي طريقة الجذر التربيعي قيم أعلى لمعامل الإنضغاط الرشحي من الطرق الباقية ، لأنها تأخذ بعين الإعتبار تشوهات القسم الأول من منحنى الإنضغاط على عكس الطرق الثانية ، والتي تأخذ تشوهات القسم الأخير من منحنى الإنضغاط وبالتالي إدخال الإنضغاط الثاني في تحديد معامل الإنضغاط الرشحي . [10]

وغالباً طريقة الجذر التربيعي للزمن هي الأفضل حيث تعطي قيمة موحدة لمعامل الإنضغاط الرشحي ، بينما طريقة لوغاريتم الزمن تعطي عدة قيم من أجل عدة مجربين ، ولكن طريقة الجذر التربيعي تتطلب أخذ قراءات التشوه خلال فترات زمنية أقصر من الفترات المعتمدة في طريقة لوغاريتم الزمن وذلك للحصول على الجزء الخطي من منحنى الإنضغاط ، و قد يكون أحيانا من الصعب الحصول على هذا الجزء الخطي وفي هذه الحالة نلجأ إلى طريقة لوغاريتم الزمن . [19]



## 9-1- نفاذية التربة :

نفاذية التربة تعبر عن إمكانية التربة لتمرير السوائل خلال المسامات الموجودة فيها ، وبالتالي فإن عامل النفاذية يعطي مؤشر عن سهولة جريان الماء في التربة ، وتختلف قيمة معامل النفاذية باختلاف نوع التربة وحجم وشكل حبيباتها، حيث تنخفض مع ازدياد نسبة المواد الناعمة وكذلك الماء الذي يجري ضمن فراغات التربة ذات الأبعاد الصغيرة يلاقي صعوبة كبيرة وبالتالي فإن التربة الغضارية ذات نفاذية منخفضة حتى لو كانت نسبة الفراغات فيها كبيرة ويحدث جريان مختلف أنواع الماء في التربة تحت تأثير عوامل مختلفة ، فالماء بشكل بخار يتحرك تحت تأثير فرق ضغط البخار في نقاط مختلفة من التربة ، وأما الماء الشعري يتحرك تحت تأثير فرق قوى الإمتصاص بينما تتحرك المياه الجوفية الحرة تحت تأثير فرق ضواغط الماء. [18]

### 1-9-1- حركة الماء في التربة الغضارية حسب قانون دارسي :

يوجد نوعين لحركة الماء في التربة حركة صفحية ، حيث تكون السرعة قليلة و تتحرك جزيئات الماء موازية لبعضها البعض ، وتسمى السرعة في نهاية الحركة الصفحية بالسرعة الحرجة  $V_c$  وعند ازدياد سرعة الجريان عن السرعة الحرجة تتداخل وتتقاطع مسارات حركة جزيئات الماء وتسمى حركة الماء بالحركة المضطربة .

وفي حالة الجريان الصفحي ممكن وصف حركة الماء بقانون دارسي ، الذي يفرض وجود تناسب بين سرعة انخفاض الضاغط والميل الهيدروليكي ، أي أن كمية الماء التي ترشح خلال مقطع معين من التربة تتناسب طردياً مع مساحة هذا المقطع وفرق الضواغط ، وتتناسب عكساً مع طول مسار الرشح ويعبر عن قانون دارسي بالعلاقة التالية : [8]

$$V = K.i$$

$V$  سرعة رشح الماء أو سرعة انخفاض الضاغط .  $k$  عامل النفاذية .

$i$  الميل الهيدروليكي ويساوي فرق الضاغط  $h$  مقسوماً على طول مسار الرشح في العينة  $L$

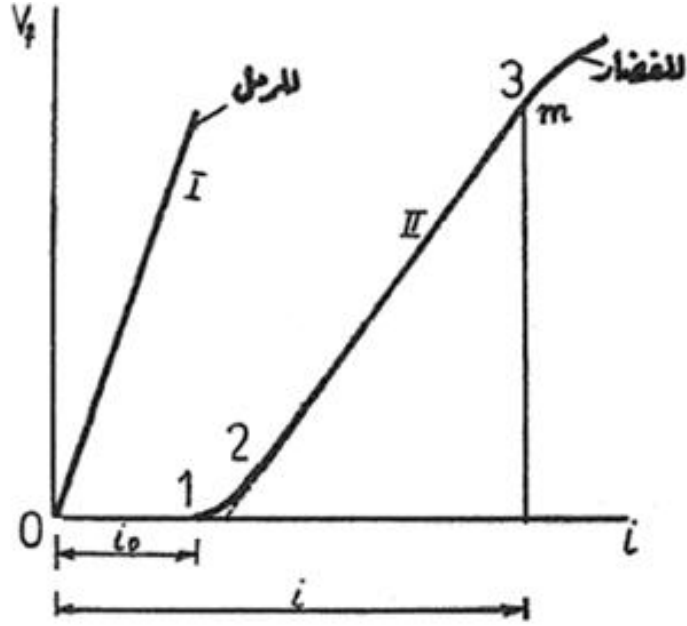
$$i = \frac{h}{L}$$

أما في حالة حركة الماء في التربة بالسرعات العالية لايمكن تطبيق قانون دارسي ، وبالتالي

ممكن تطبيق قانون دراسي في الترب الغضارية والسلتية . [20]

وقد بينت التجارب أن حركة رشح الماء في التربة الغضارية اللدنة تبدأ بعد أن تصل قيمة التدرج فيها إلى مقدار معين يدعى التدرج الهيدروليكي الإبتدائي  $i_0$  ، يستطيع بواسطته التغلب على مقاومة الأغشية المائية لحركة الماء ، وفي العلاقة بين سرعة الرشح في الغضار مع التدرج

الهيدروليكي نميز ثلاثة أجزاء كما هو موضح في الشكل (1-21) :



الشكل (1-21) العلاقة بين التدرج الهيدروليكي وسرعة الرش

الجزء الأول تكون خلاله السرعة معدومة ، والجزء الثاني منحنى انتقالي والجزء الثالث مستقيم حيث تكون العلاقة بين السرعة والتدرج الهيدروليكي خطية . [18]

## 2-9-1- العوامل المؤثرة على معامل نفاذية التربة : [20]

١. التركيب الحبي للتربة :

إن قيمة معامل النفاذية في الترب الرملية أعلى بكثير منها في الغضار ، كما أن نفوذية التربة الرملية ذات الحبيبات الدائرية الشكل أعلى منها في التربة الرملية ذات الحبيبات الحادة والمسطحة ، وتتنخفض قيمة معامل النفاذية مع ازدياد نسبة المواد الناعمة في التربة .

٢. تأثير مسامية التربة :

تزداد قيمة معامل النفاذية بزيادة قيمة المسامية ، وهي نسبة حجم الفراغات إلى حجم الحبيبات الصلبة في التربة .

٣. تأثير بينية التربة :

تختلف النفاذية بين عينات سليمة البنية وأخرى مشككة حتى ولو كان للعينات نفس الخواص الفيزيائية .

٤. تأثير درجة حرارة الماء التربة والغازات النحلة فيه :

عند ازدياد درجة الحرارة تنخفض لزوجة الماء مما يزيد من سرعة رش الماء ، كما يؤدي الغاز المحتبس في التربة إلى نقصان عامل النفاذية.

٥. نوع الشوارد الموجودة في ماء التربة :

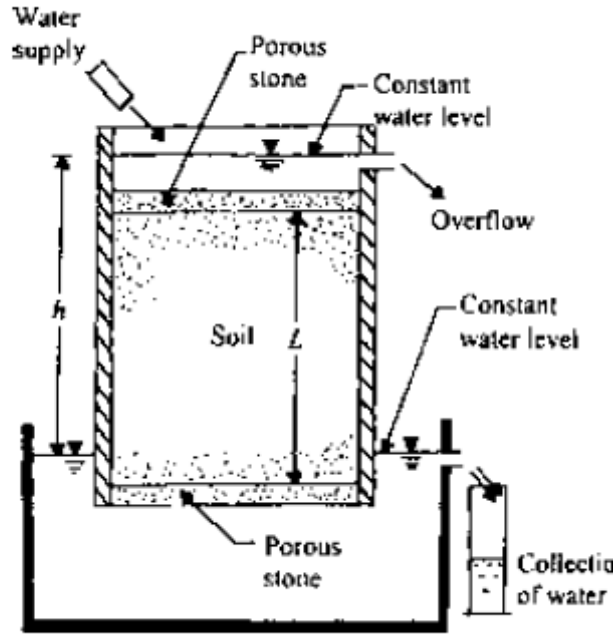
نفاذية التربة في حال وجود شوارد الصوديوم أقل منها في حالة وجود شوارد البوتاسيوم أو الكالسيوم تساعد على زيادة سماكة الماء المتصل بالجزيئات المينرالية .

6. درجة الإشباع :

تزداد قيمة عامل النفاذية بزيادة درجة الإشباع وتتنخفض بانخفاضها ، وتعرف درجة الإشباع بأنها نسبة إمتلاء فراغات التربة بالماء .

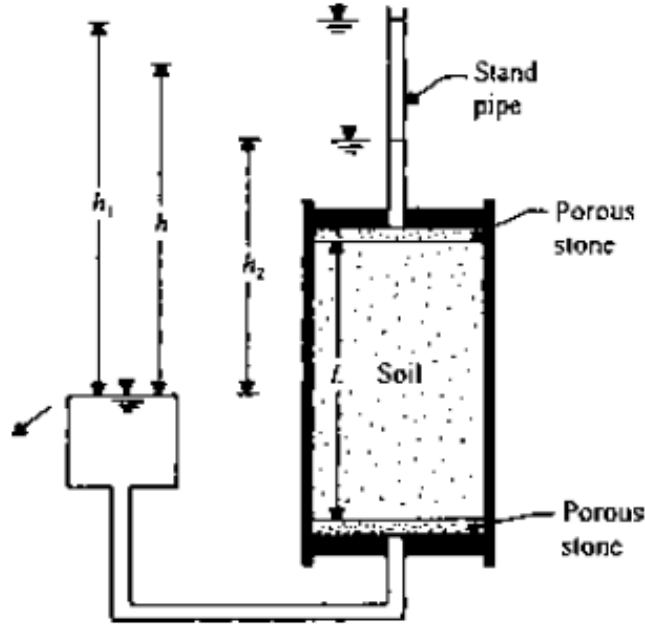
3-9-1- الطرق المخبرية المتبعة لقياس معامل نفاذية التربة :

1- في الترب الخشنة يتم قياس معامل النفاذية بواسطة جهاز الرش ذي الضاغط الثابت كما في الشكل (1-22) : [4]



الشكل (1-22) جهاز الرش ذي الضاغط الثابت

2- أما في الترب الناعمة الغضارية والسيلتية فيتم قياس معامل النفاذية بواسطة جهاز الرش ذي الضاغط المتغير كما في الشكل (1-23) :



الشكل (1-23) جهاز الرشح ذي الضاغظ المتغير

حيث توضع عينة التربة التي مساحة مقطعها  $A$  بين قرصين مساميين ، ويقاس مصروف الماء بواسطة أنبوب زجاجي دقيق مساحة مقطعه  $a$  وبحسب معامل النفاذية كما يلي :

$$K = 2.3 \frac{L.a}{A.t} \lg \frac{h_1}{h_2}$$

$L$  مسار رشح الماء وهنا يساوي ارتفاع العينة .

$a$  مساحة مقطع أنبوب النفاذية.

$A$  مساحة العينة .

$t$  الزمن .

$h_1$  الضاغظ البدائي .

$h_2$  الضاغظ النهائي. [4]

- ويمكن تحديد قيمة عامل النفاذية بالإعتماد على تجربة الإنضغاط مع الزمن من العلاقة :

$$K = C_v . m_v . \gamma_w$$

$C_v$  معامل الإنضغاط الرشحي .

$m_v$  معامل الإنضغاط الحجمي .

$\gamma_w$  الوزن الحجمي للماء .

ولكن القيمة الناتجة من المعادلة السابقة تكون أصغر من المقاس تجريبياً . [10]

-وقد أعطيت بعض القيم النموذجية لعامل نفاذية التربة حسب نوع التربة كما في الجدول (1-1)

الجدول (1-1) قيم معامل النفاذية حسب نوع التربة [4]

نوع التربة	معامل النفاذية ( mm/sec )
بحص ناعم ، خشن ، رمل متوسط	$10^{-2} - 10$
رمل ناعم ، سيلت مفكك	$10^{-4} - 10^{-2}$
سيلت غضاري ، سيلت كثيف	$10^{-5} - 10^{-4}$
غضار ، غضار سيلتي	$10^{-8} - 10^{-5}$

# الفصل الثاني

## الدراسة التجريبية

- ١ - نتائج تجارب الخواص الفيزيائية والقرائن المصنفة للتربة.
- ٢ - نتائج تجارب التشديد.
- ٣ - نتائج تجارب النفاذية.

## 2- الدراسة التجريبية :

تم إجراء التجارب المخبرية على ثلاثة أنواع من الترب وهي :1- تربة جرمانا (مشروع مدرسة الآسية ) بلون بيج مصفر ، 2- تربة من سهل الغاب ذات لون ترابي داكن ، 3- تربة من موقع جامعة البعث (مشروع بناء مخابر كلية الهندسة الغذائية) ذات لون مائل للأحمر، حيث تم إجراء التجارب التالية :

- 1- تجارب الخواص الفيزيائية ( الرطوبة الطبيعية ، الوزن الحجمي الطبيعي ، الوزن النوعي )
- 2- تجارب القرائن المصنفة للتربة ( حد السيولة ، حد اللدونة ، التحليل الحبي ) .
- 3- تجارب الإنضغاط مع الزمن (التشديد) في جهاز الآدومتر من أجل الحملات التالية  $kg/cm^2$  ( 0.25 , 0.5 , 1 , 2 , 4 , 8 , 10 ) .
- 4 - تجارب النفاذية حيث تم تركيب أنبوب بيزومتري إلى علبة التشديد كما في الشكل(1-2) :



الشكل (1-2) جهاز الآدومتر في مخبر الخدمات الفنية  
بحمص مع أنبوب بيزومتري موصول إلى خلية التشديد .

وتم إيجاد معامل النفاذية خلال تجارب التشديد السابقة محسوباً من العلاقة التالية :

$$K = 2.3 \frac{L.a}{A.t} \lg \frac{h_1}{h_2}$$

L مسار رشح الماء وهنا يساوي ارتفاع العينة ، a مساحة مقطع أنبوب النفاذية ( ومن أجل التجارب لهذا البحث  $a=40.7\text{mm}^2$  ) ، مساحة العينة ، t الزمن ،  $h_1$  الضاغط البدائي  $h_2$  الضاغط النهائي ، و تم اعتماد الضاغط البدائي (  $h_1 = 128\text{cm}$  ) عند بداية كل تجربة للنفاذية وتم مراقبة تغير الضاغط مع الزمن أثناء تجارب التشديد .

#### ١ + نتائج تجارب الخواص الفيزيائية و القرائن المصنفة للتربة :

1-1-2- يوضح الجدول (1-2) نتائج تجارب الخواص الفيزيائية و القرائن المصنفة للتربة من أجل أنواع الترب المدروسة ( تربة جرمانا- تربة سهل الغاب- تربة جامعة البعث ) :

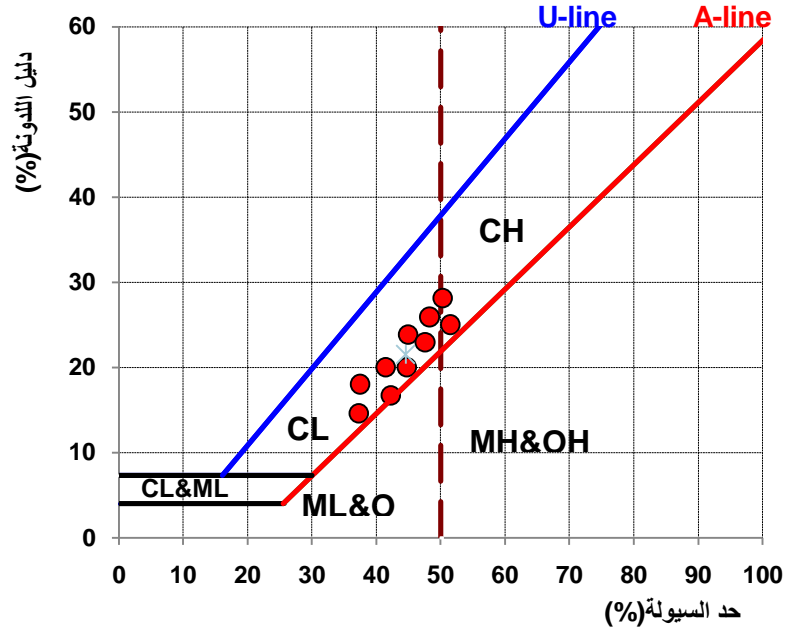
الجدول (1-2) نتائج تجارب الخواص الفيزيائية و القرائن المصنفة للترب المدروسة

خواص التربة	تربة جرمانا	تربة سهل الغاب	تربة جامعة البعث
الرطوبة الطبيعية %	28.5	39	31.2
الوزن الحجمي $\text{gr/cm}^3$	1.95	1.98	1.92
الوزن النوعي	2.67	2.53	2.71
حد السيولة %	44.6	57	51.5
حد اللدونة %	23.1	26.9	22.5
دليل اللدونة %	21.5	30.1	29



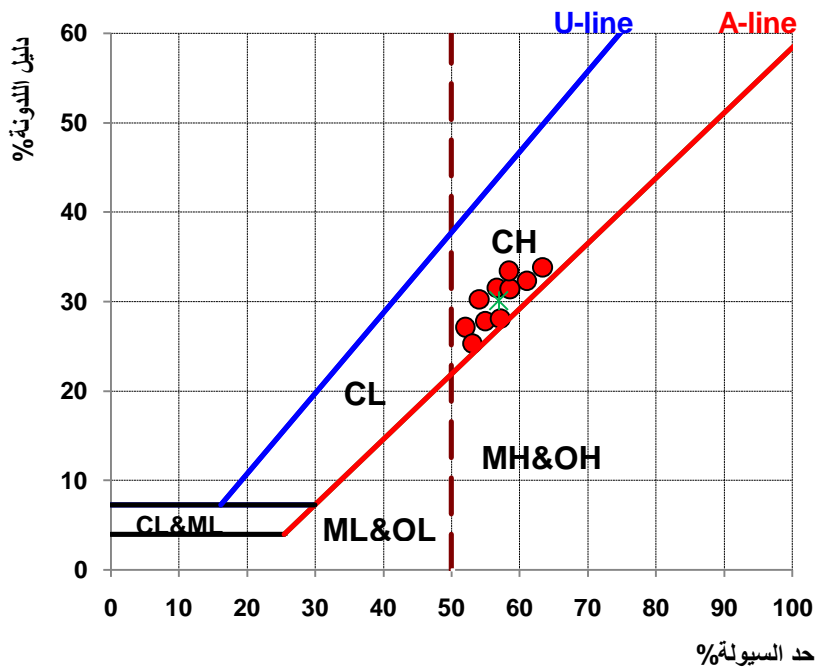
## 2-1-2- تصنيف الترب المدروسة :

1- تصنيف تربة جرمانا غضار منخفض اللدونة (CL) حسب المخطط في الشكل (2-2) :



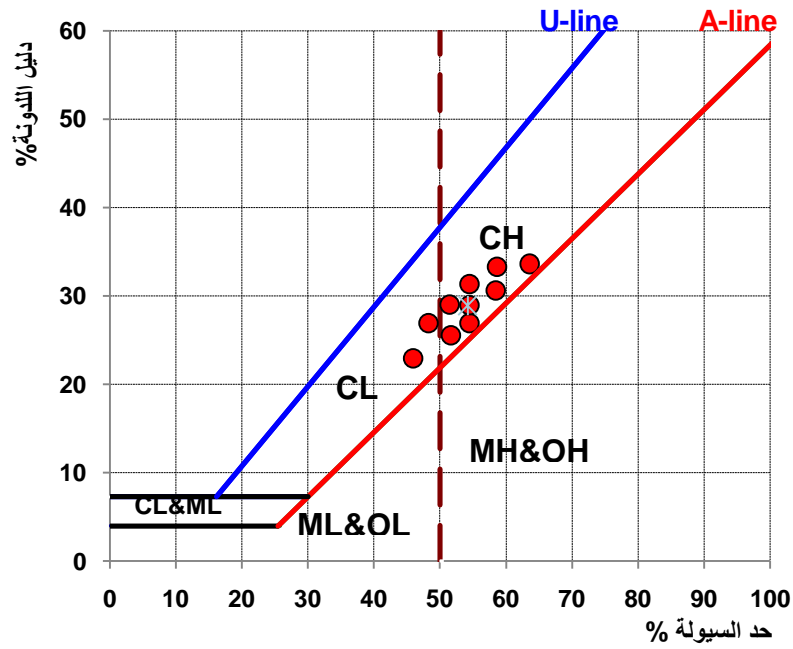
الشكل (2-2) تصنيف تربة جرمانا

2- تصنيف تربة سهل الغاب غضار عالي اللدونة (CH) حسب المخطط في الشكل (2-3) :



الشكل (2-3) تصنيف تربة سهل الغاب

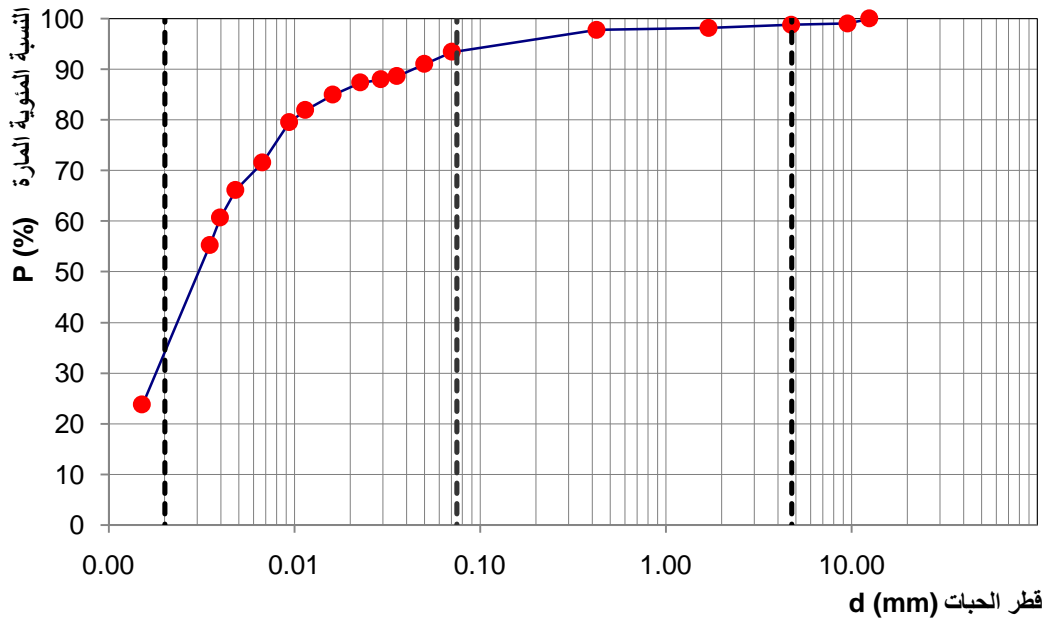
3- تصنيف تربة جامعة البعث غضار عالي اللدونة (CH) حسب المخطط في الشكل (2-4) :



الشكل (2-4) تصنيف تربة جامعة البعث

3-1-2- نتائج تجارب التحليل الحبي :

1- منحنى التحليل الحبي لتربة جرمانا مبين بالشكل (2-5):

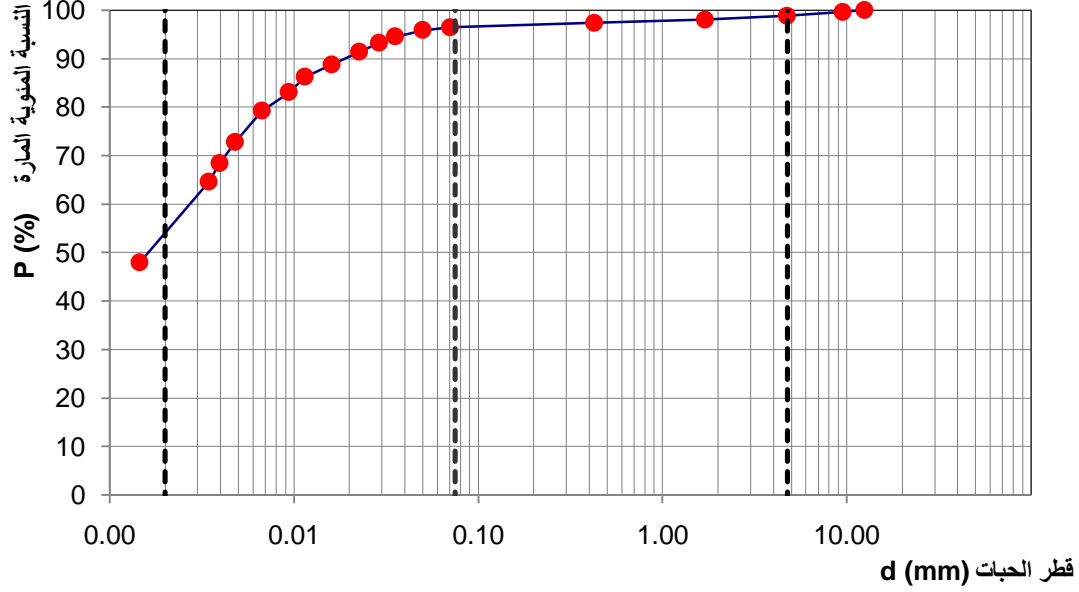


الشكل (2-5) منحنى التحليل الحبي لتربة جرمانا

وبالتالي يكون تقسيم تربة جرمانا حسب المواصفات الأمريكية (U.S.C.S) كما يلي :

غضار (31.4%) ، سيلت (63.5%)، رمل (4%) ، بحص (1.2%) .

2- منحنى التحليل الحبي لتربة سهل الغاب مبين بالشكل (2-6) :

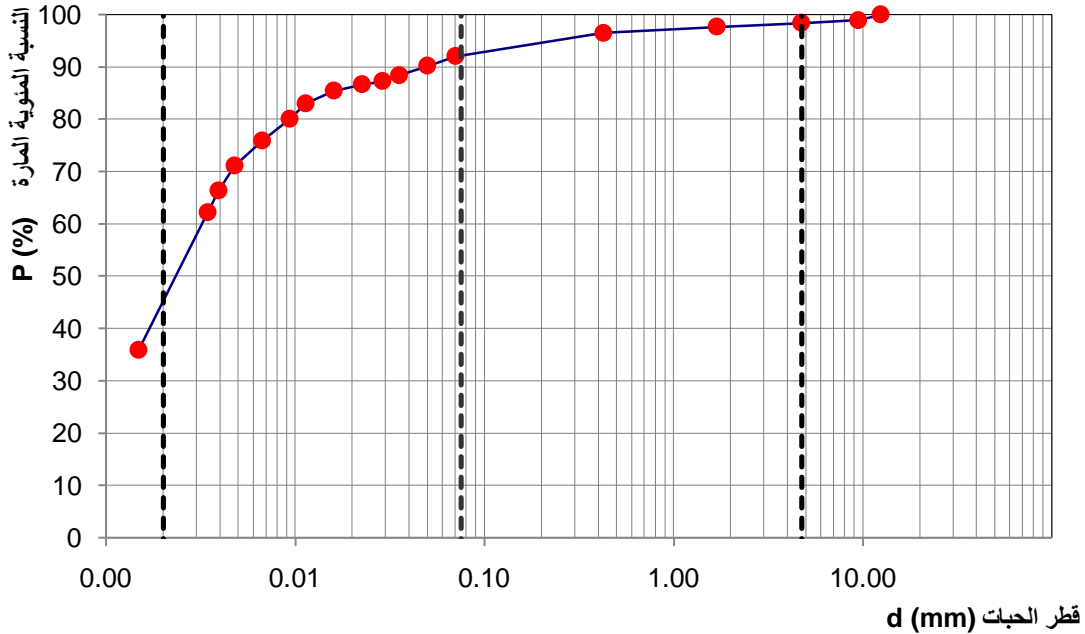


الشكل (2-6) منحنى التحليل الحبي لتربة سهل الغاب

وبالتالي يكون تقسيم تربة سهل الغاب حسب المواصفات الأمريكية (U.S.C.S) كما يلي :

غضار (52.5%) ، سيلت (44.1%)، رمل (2.3%) ، بحص (1.2%) .

3- منحنى التحليل الحبي لتربة جامعة البعث مبين بالشكل (2-7) :



الشكل (2-7) منحنى التحليل الحبي لتربة جامعة البعث

وبالتالي يكون تقسيم تربة جامعة البعث حسب المواصفات الأمريكية (U.S.C.S) كما يلي :

غضار (42.8%) ، سيلت (51.4%) ، رمل ( 4.2% ) ، بحص ( 1.6% ) .

- نلخص نتائج التحليل الحبي من أجل الترب المدروسة وفق الجدول (2-2) :

الجدول (2-2) نتائج التحليل الحبي للترب المدروسة

نوع التربة	تربة جرمانا	تربة سهل الغاب	تربة جامعة البعث
نسبة الغضار %	31.4	52.5	42.8
نسبة السيلت %	63.5	44.1	51.4
نسبة الرمل %	4	2.3	4.2
نسبة البحص %	1.2	1.2	1.6

## 2-2- نتائج تجارب التشديد :

2-2-1- نتائج تجارب التشديد في تربة جرمانا : تم إجراء تجارب التشديد لتربة جرمانا بتشكيل العينات وفق المعطيات الأولية الموجودة في الجدول (2-3) :

الجدول (2-3) المعطيات الأولية لتجارب التشديد في تربة جرمانا

إرتفاع العينة البدائي	20 mm
مساحة العينة	20 cm <sup>2</sup>
الوزن النوعي	2.67
وزن حلقة التشديد فارغة	102.98 gr
وزن العينة (رطبة) مع الحلقة قبل التشديد	180.96 gr
وزن العينة (جافة) مع الحلقة بعد التشديد	163.68 gr
الرطوبة قبل التشديد	28.5%
الوزن الحجمي الرطب	1.95 gr/cm <sup>3</sup>
الوزن الحجمي الجاف	1.52 gr/cm <sup>3</sup>
معامل المسامية	0.7595
رطوبة الإشباع	28.4%

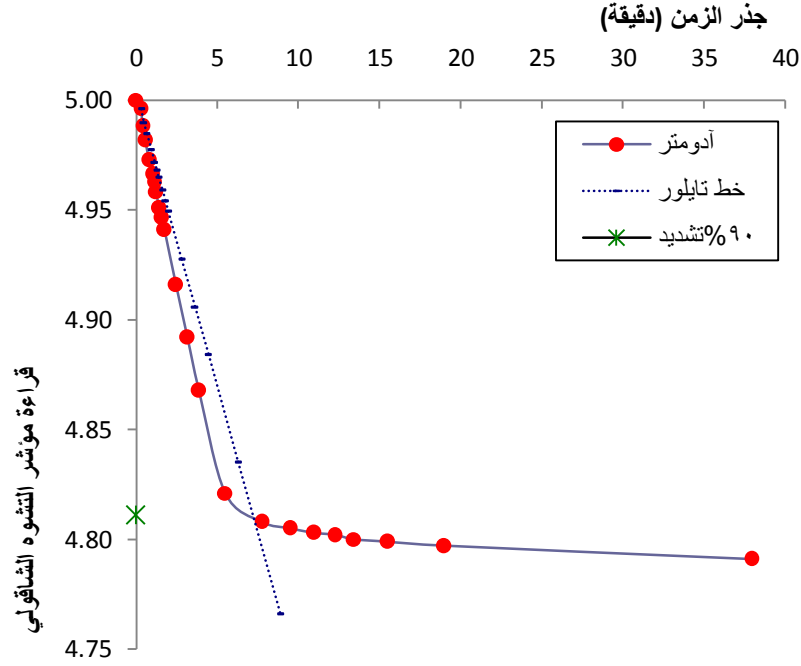
-وبين الجدول ( 2-4 ) نموذج لترتيب نتائج تجربة التشديد من أجل الإجهاد المطبق

0.25kg/cm<sup>2</sup> في تربة جرمانا :

الجدول (2-4) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا من أجل الإجهاد المطبق  $0.25\text{kg/cm}^2$

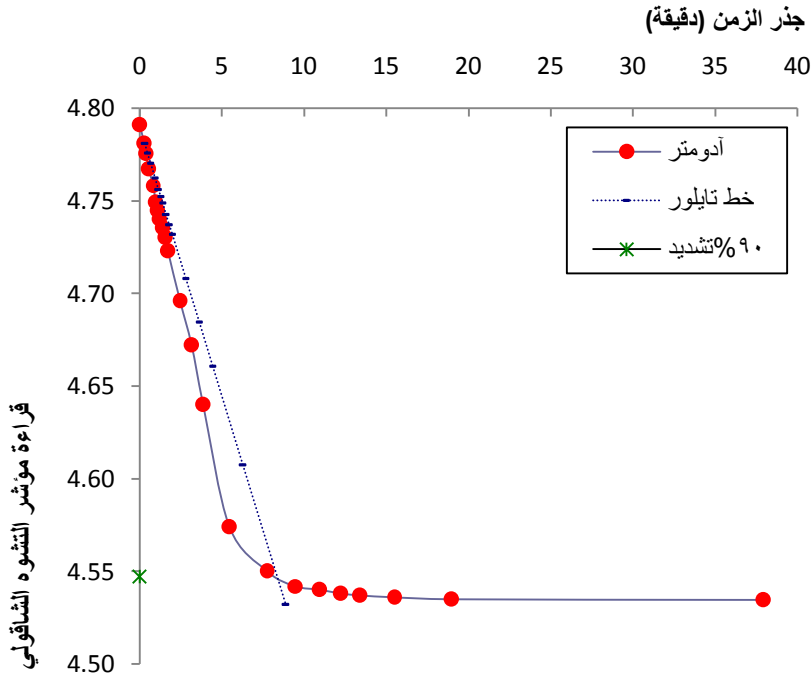
الزمن (دقيقة)	قراءة المؤشر	الهبوط (mm)	معامل المسامية	الرطوبة %
0.00	5.000	0.000	0.7595	28.47
0.08	4.996	0.004	0.7591	28.47
0.17	4.988	0.012	0.7584	28.47
0.33	4.982	0.018	0.7579	28.46
0.67	4.973	0.027	0.7571	28.46
1.00	4.966	0.034	0.7565	28.46
1.25	4.963	0.037	0.7562	28.46
1.50	4.958	0.042	0.7558	28.46
2.00	4.951	0.049	0.7551	28.45
2.50	4.947	0.054	0.7548	28.45
3.00	4.941	0.059	0.7543	28.45
6.00	4.916	0.084	0.7521	28.44
10.00	4.892	0.108	0.7500	28.43
15.00	4.868	0.132	0.7478	28.43
30.00	4.821	0.179	0.7437	28.41
60.00	4.808	0.192	0.7426	28.41
90.00	4.805	0.195	0.7423	28.41
120.00	4.803	0.197	0.7421	28.41
150.00	4.802	0.198	0.7421	28.40
180.00	4.800	0.200	0.7419	28.40
240.00	4.799	0.201	0.7418	28.40
360.00	4.797	0.203	0.7416	28.40
1440.00	4.791	0.209	0.7411	28.40

- ويبين الشكل (2-8) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بلالإجهاد  $0.25\text{kg/cm}^2$  :



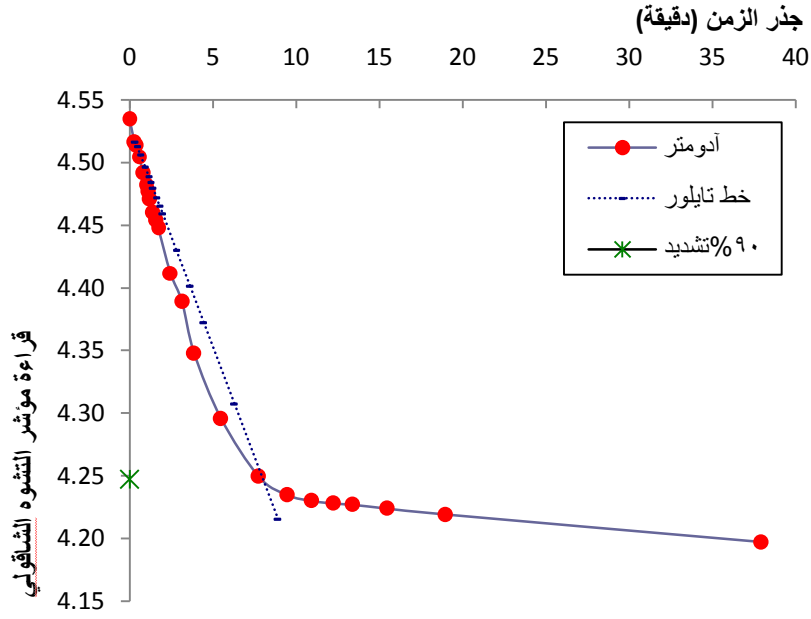
الشكل (2-8) منحنى التشديد لتربة جرمانا الإجهاد المطبق  $0.25\text{Kg/cm}^2$

-يبين الشكل (2-9) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بلالإجهاد  $0.5\text{ kg/cm}^2$  :



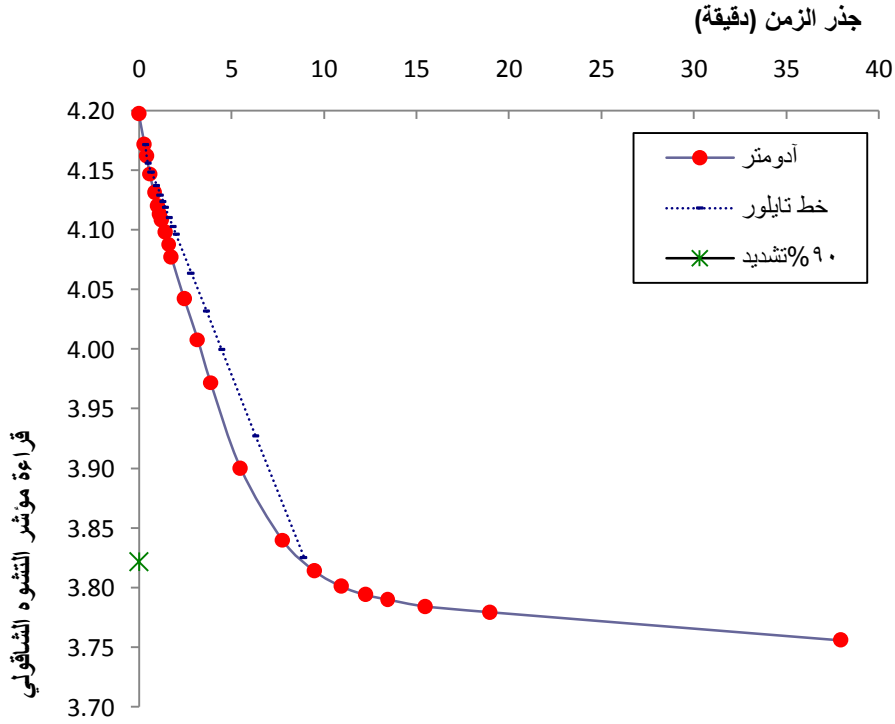
الشكل (2-9) منحنى التشديد لتربة جرمانا الإجهاد المطبق  $0.5\text{Kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (10-2) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $1 \text{ kg/cm}^2$  :



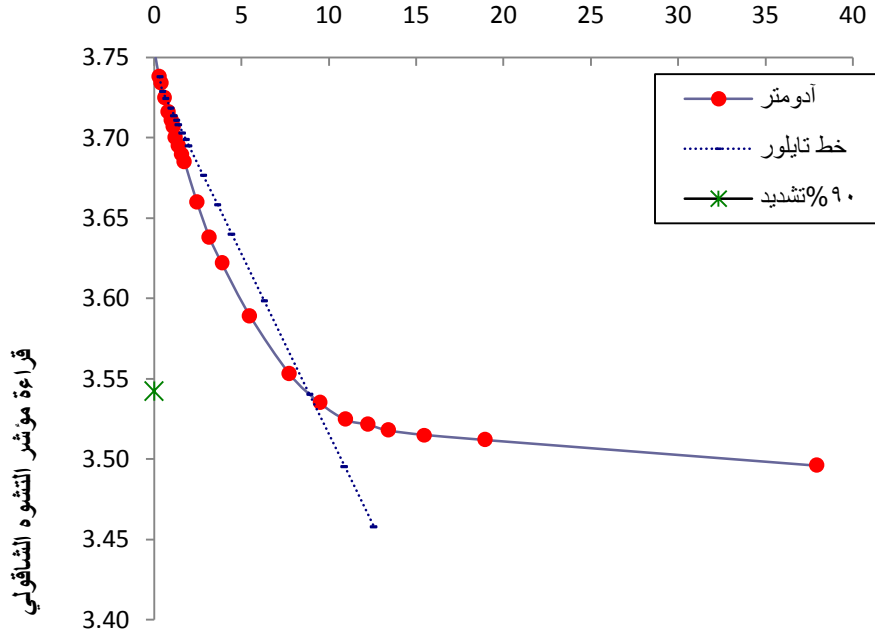
الشكل (10-2) منحنى التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $1 \text{ Kg/cm}^2$

-يبيّن الشكل (11-2) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $2 \text{ kg/cm}^2$  :



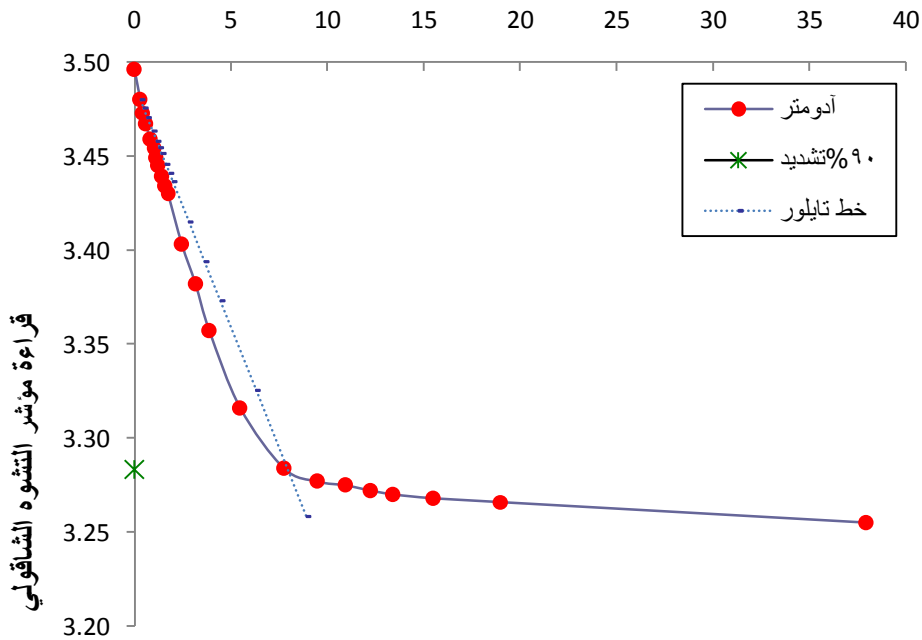
الشكل (11-2) منحنى التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $2 \text{ Kg/cm}^2$

-يبين الشكل (2-12) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $4 \text{ kg/cm}^2$  :  
 جذر الزمن (دقيقة)



الشكل (2-12) منحنى التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $4 \text{ Kg/cm}^2$

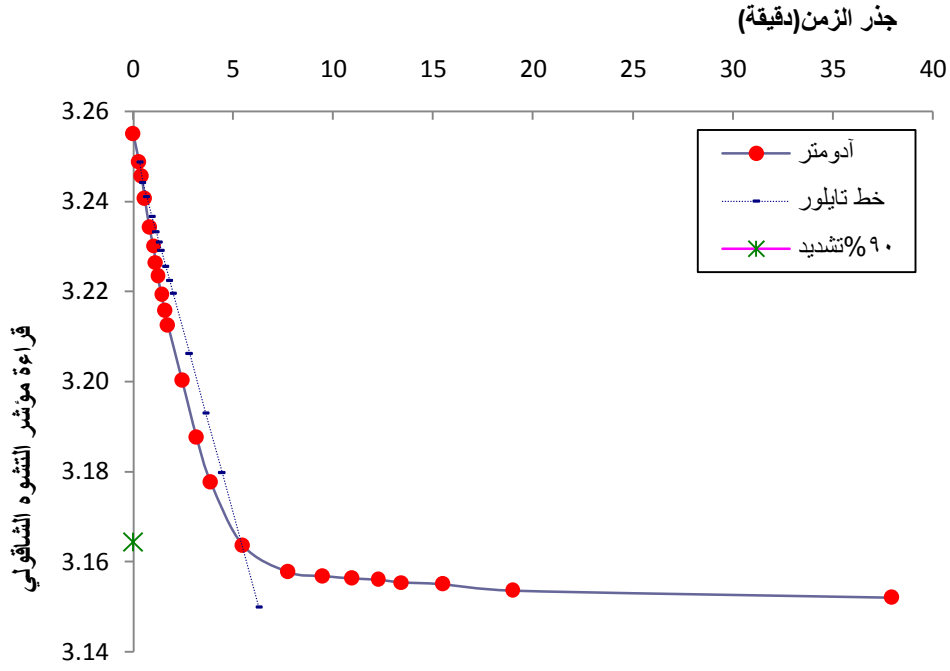
-يبين الشكل (2-13) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $8 \text{ kg/cm}^2$  :  
 جذر الزمن (دقيقة)



الشكل (2-13) منحنى التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق  $8 \text{ Kg/cm}^2$



يبين الشكل (2-14) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بلإجهاد  $10 \text{ kg/cm}^2$  :



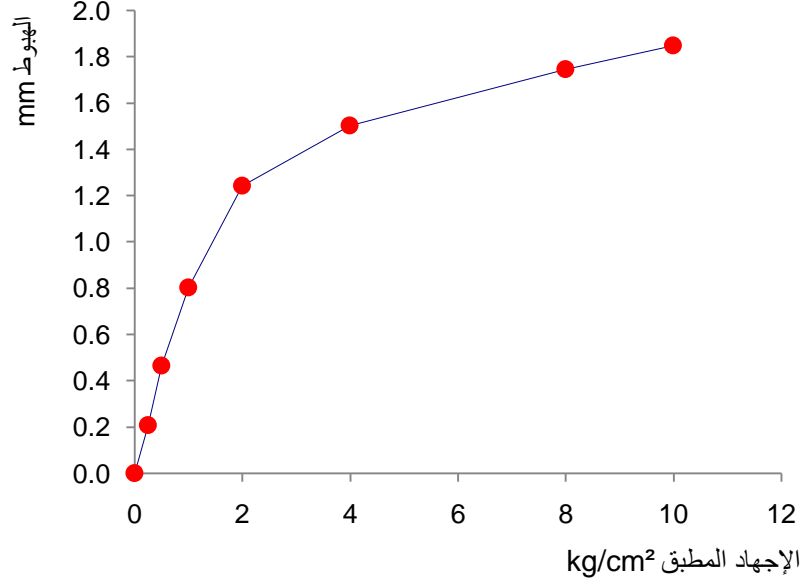
الشكل (2-14) منحنى التشديد لتربة جرمانا المطبق الإجهاد  $10 \text{ Kg/cm}^2$

- ويبين الجدول (2-5) نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جرمانا:

الجدول (2-5) الهبوط مع الإجهاد المطبق لتربة جرمانا

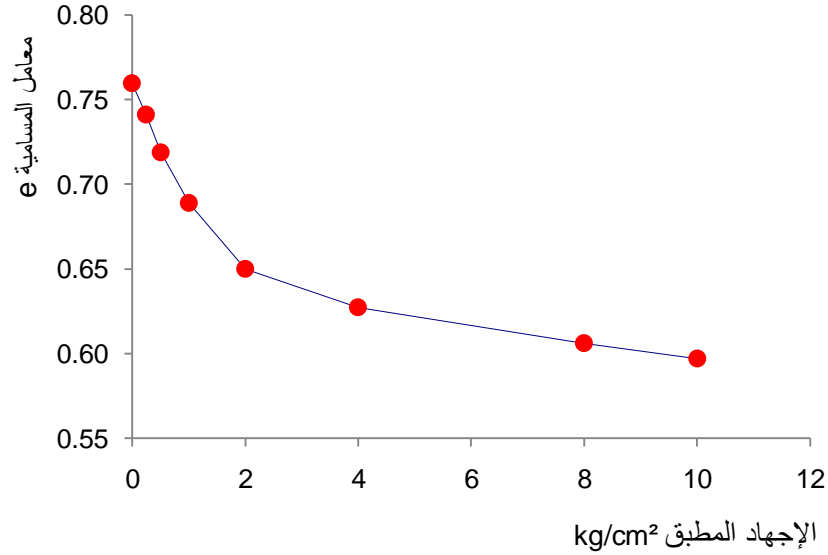
الإجهاد $\sigma$ $\text{kg/cm}^2$	قراءة التشوه	الهبوط mm	معامل المسامية $e$	$mv = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma(1+e_0)}$
0.00	5.000	0.000	0.7595	-
0.25	4.791	0.209	0.7411	0.042
0.50	4.535	0.465	0.7185	0.051
1.00	4.197	0.803	0.6888	0.034
2.00	3.756	1.244	0.6500	0.022
4.00	3.496	1.504	0.6272	0.007
8.00	3.255	1.745	0.6060	0.003
10.00	3.152	1.848	0.5969	0.003

ويبين الشكل (2-15) نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جرمانا:



الشكل (2-15) تغير الهبوط ومعامل المسامية مع الإجهاد المطبق في تربة جرمانا

ويبين الشكل (2-16) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جرمانا:



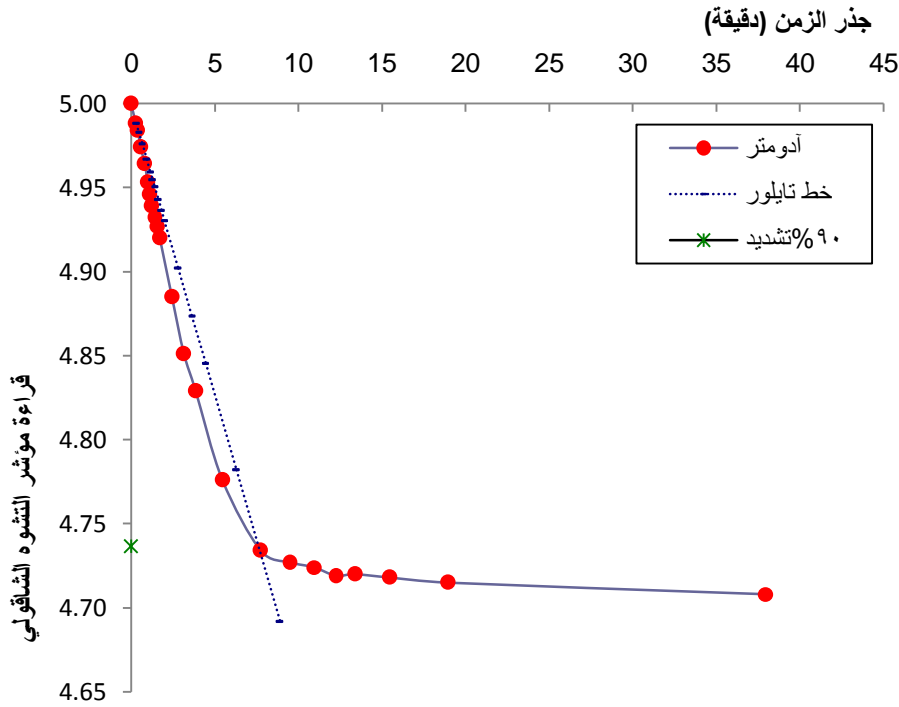
الشكل (2-16) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق في تربة جرمانا

2-2-2 - نتائج تجارب التشديد في تربة سهل الغاب : تم إجراء تجارب التشديد لتربة سهل الغاب بتشكيل العينات وفق المعطيات في الجدول (2-6) :

الجدول (2-6) المعطيات الأولية لتجارب التشديد لتربة سهل الغاب

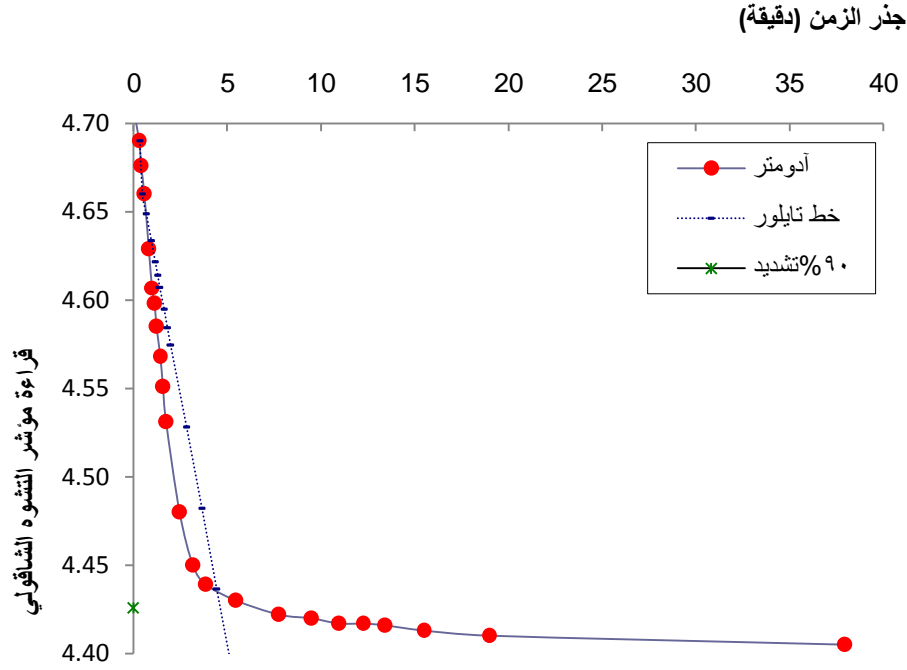
إرتفاع العينة البدائي	20 mm
مساحة العينة	20 cm <sup>2</sup>
الوزن النوعي	2.53
وزن حلقة التشديد فارغة	102.98 gr
وزن العينة (رطبة) مع الحلقة قبل التشديد	182.42 gr
وزن العينة (جافة) مع الحلقة بعد التشديد	160.53 gr
الرطوبة قبل التشديد	38%
الوزن الحجمي الرطب	1.99 gr/cm <sup>3</sup>
الوزن الحجمي الجاف	1.44 gr/cm <sup>3</sup>
معامل المسامية	0.7585
رطوبة الإشباع	30 %

- ويبين الشكل (2-17) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $0.25\text{kg/cm}^2$  :



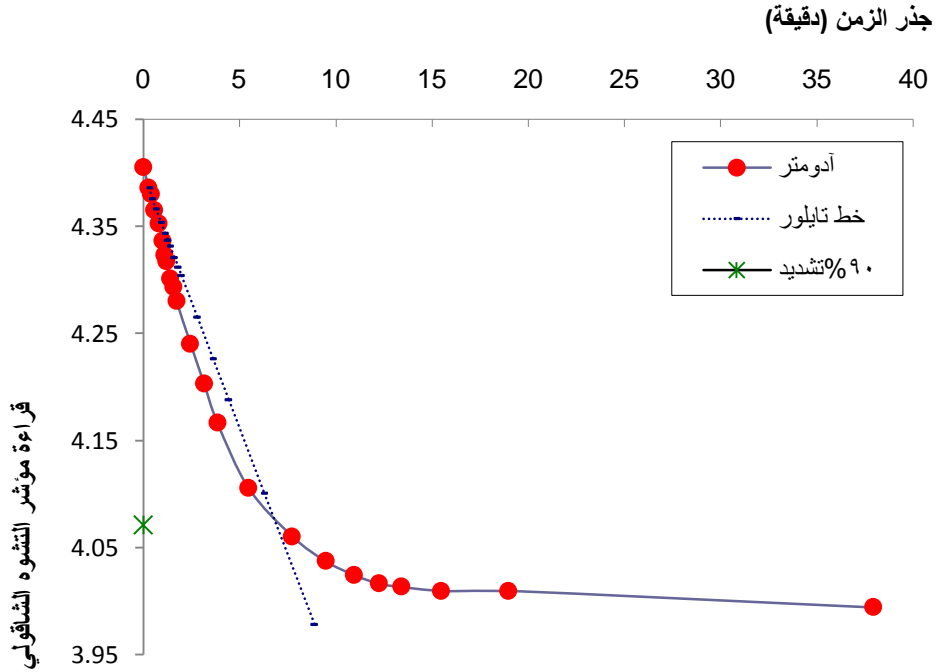
الشكل (2-17) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $0.25\text{kg/cm}^2$

- ويبين الشكل (2-18) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $0.5\text{kg/cm}^2$



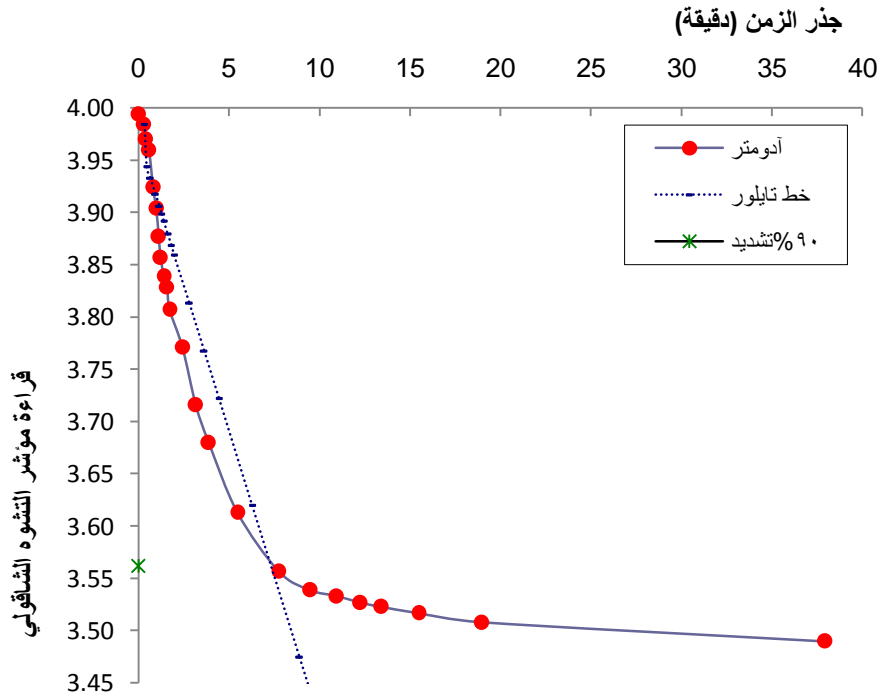
الشكل (2-18) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $0.5\text{kg/cm}^2$

- ويبين الشكل (2-19) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $1\text{kg/cm}^2$ :



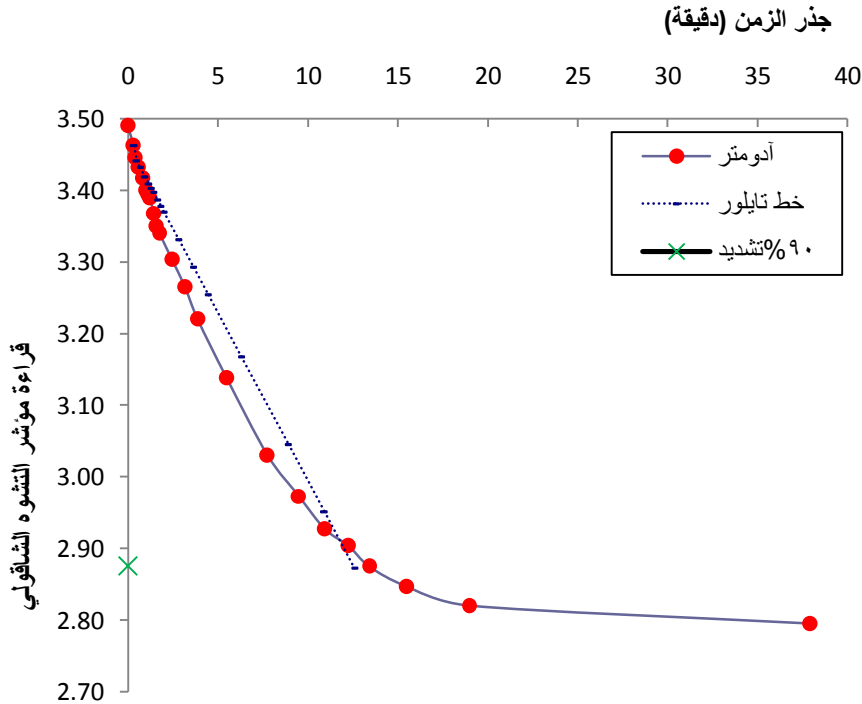
الشكل (2-19) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $1\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-20) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  :



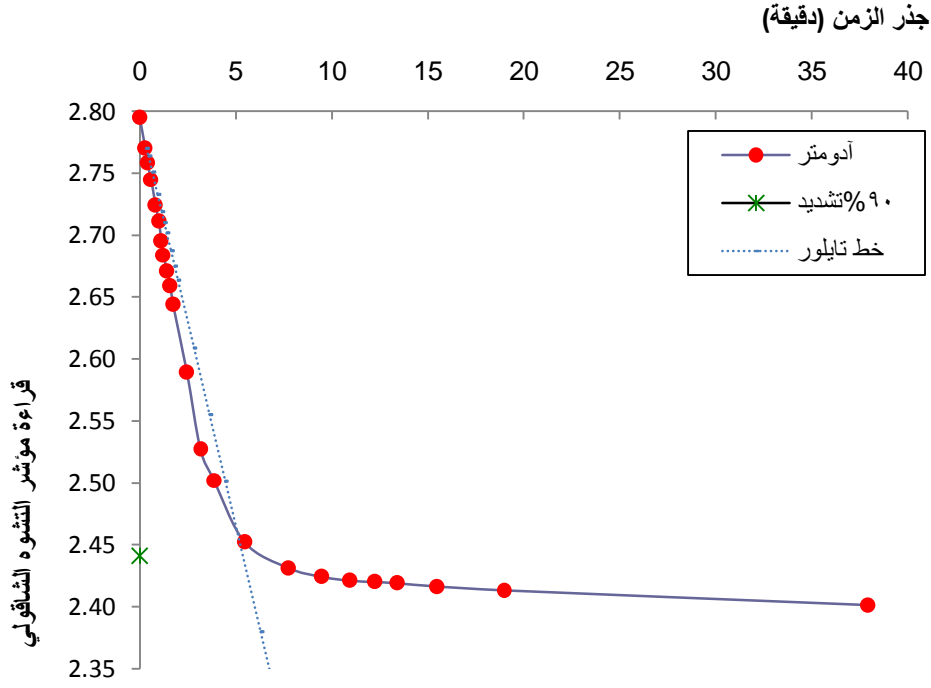
الشكل (2-20) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-21) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$  :



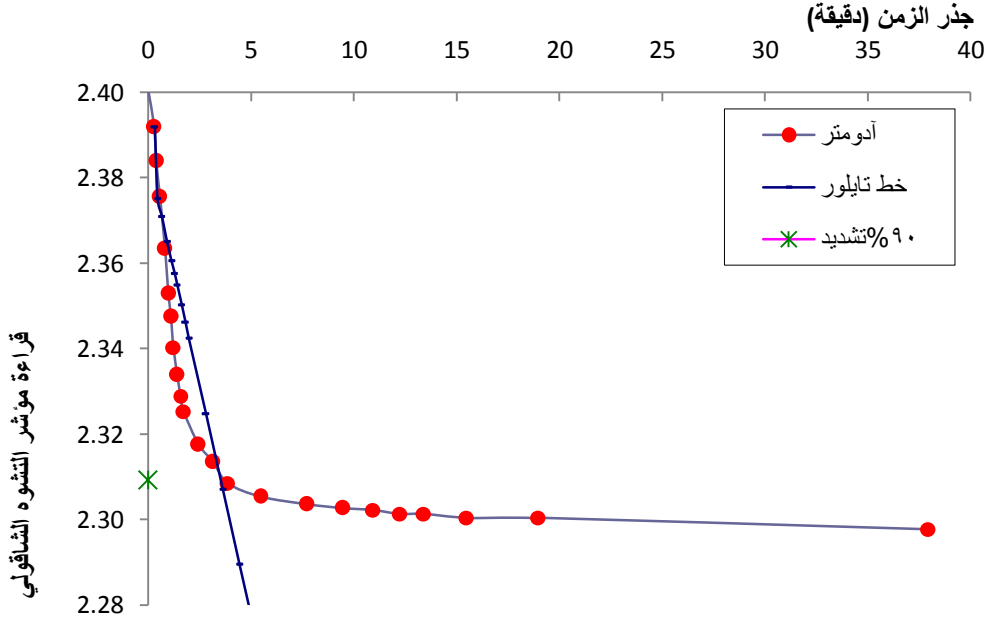
الشكل (2-21) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-22) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $8\text{kg/cm}^2$  :



الشكل (2-22) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $8\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-23) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $10\text{kg/cm}^2$  :



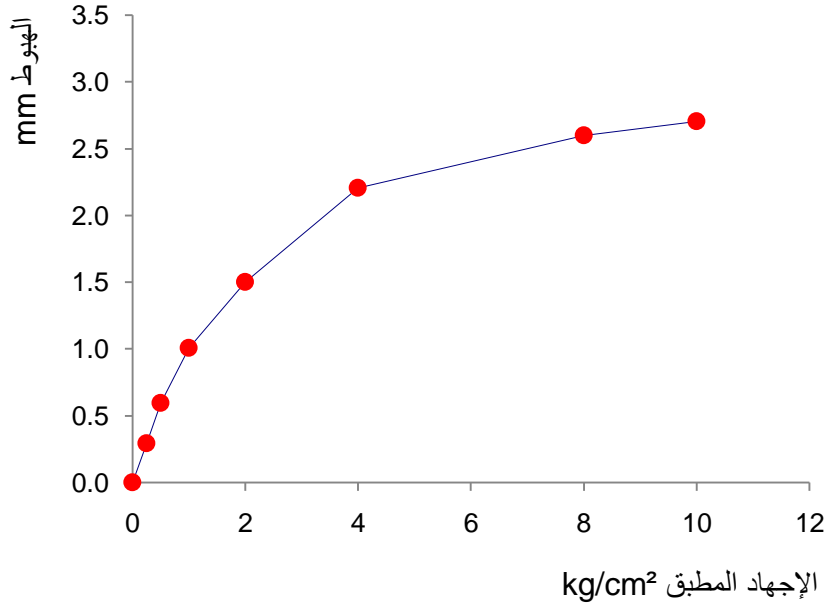
الشكل (2-23) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $10\text{kg/cm}^2$

-ويبين الجدول (2-7) نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب:

الجدول (2-7) نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب

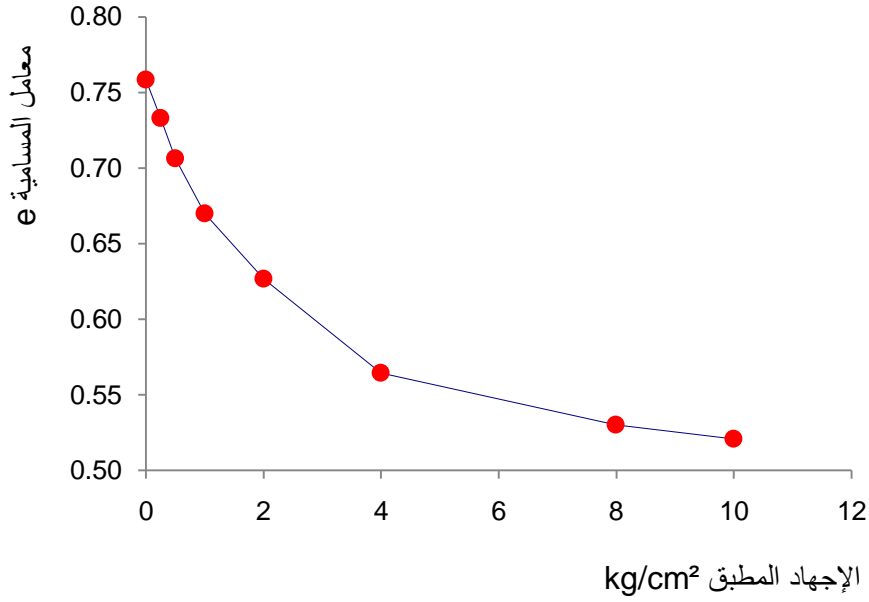
الإجهاد $\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	قراءة التشوه	الهبوط mm	معامل المسامية $e$	$mv = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma(1+e_0)}$
0.00	5.000	0.000	0.7585	-
0.25	4.708	0.292	0.7328	0.058
0.50	4.405	0.595	0.7062	0.061
1.00	3.994	1.006	0.6700	0.041
2.00	3.500	1.500	0.6266	0.025
4.00	2.795	2.205	0.5646	0.018
8.00	2.401	2.599	0.5300	0.005
10.00	2.298	2.702	0.5209	0.003

-ويبين الشكل (2-24) تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب :



الشكل (2-24) تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب

-ويبين الشكل (2-25) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب :



الشكل (2-25) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب

### 3-2-2-2- نتائج تجارب التشديد من أجل تربة جامعة البعث :

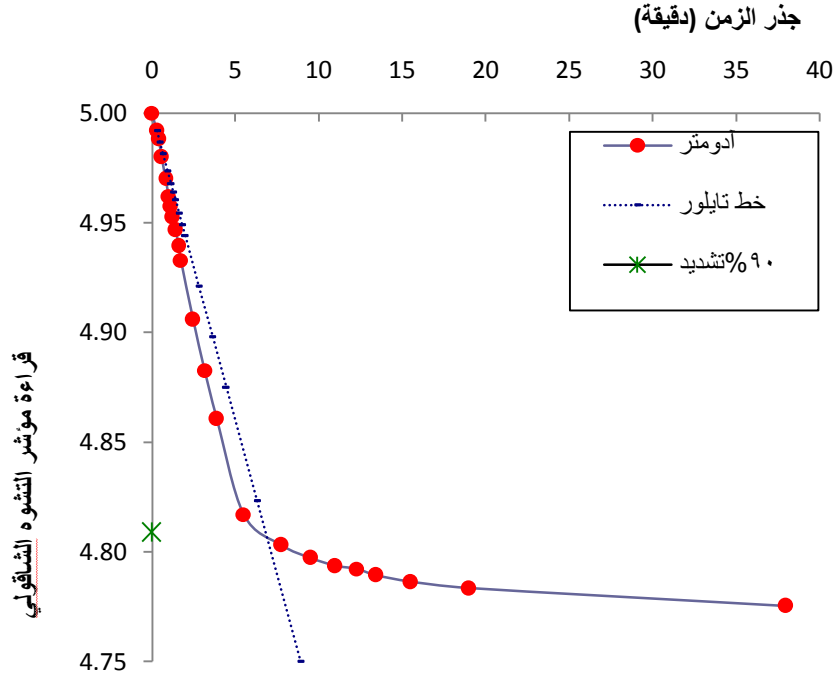
تم إجراء تجارب التشديد لتربة جامعة البعث بتشكيل العينات وفق المعطيات في الجدول (2-8) :

الجدول (2-8) المعطيات الأولية لتجارب التشديد في تربة جامعة البعث

إرتفاع العينة البدائي	20mm
مساحة العينة	20cm <sup>2</sup>
الوزن النوعي	2.71
وزن حلقة التشديد فارغة	102.98 gr
وزن العينة (رطبة) مع الحلقة قبل التشديد	179.88 gr
وزن العينة (جافة) مع الحلقة بعد التشديد	161.45 gr
الرطوبة قبل التشديد	31.5%
الوزن الحجمي الرطب	1.92 gr/cm <sup>3</sup>
الوزن الحجمي الجاف	1.46 gr/cm <sup>3</sup>
معامل المسامية	0.8539
رطوبة الإشباع	31.5%

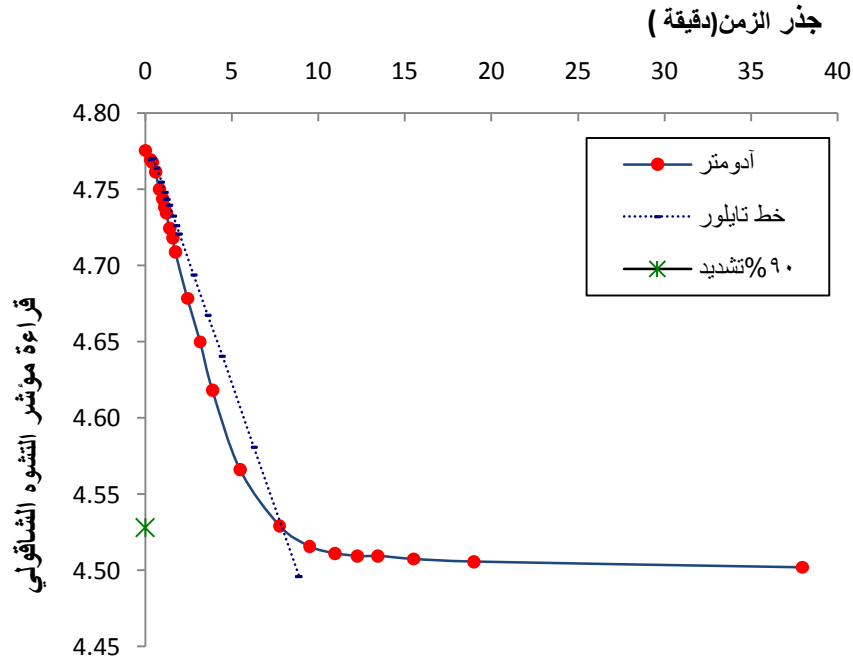


-ويبين الشكل (2-26) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $0.25\text{kg/cm}^2$



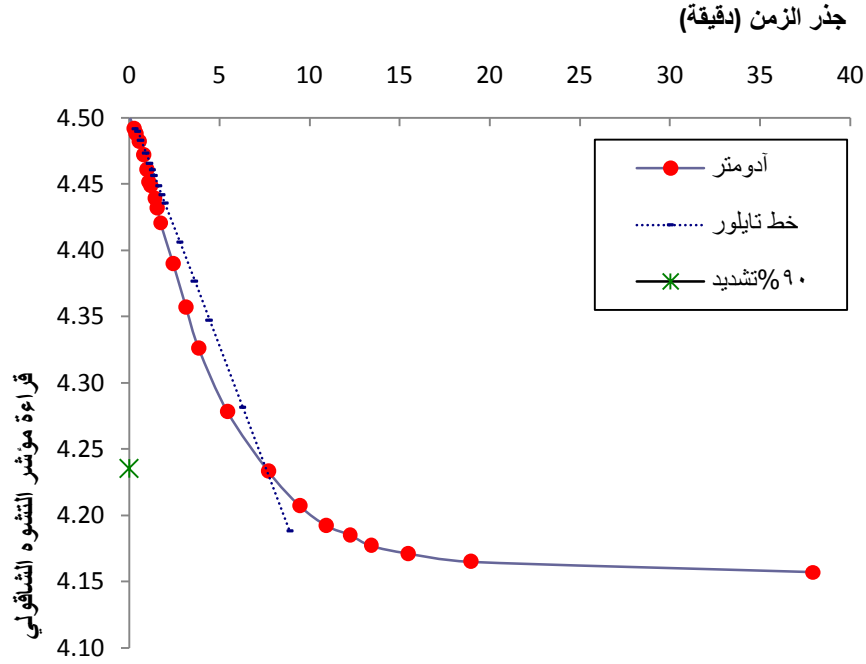
الشكل (2-26) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $0.25\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-27) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $0.5\text{kg/cm}^2$



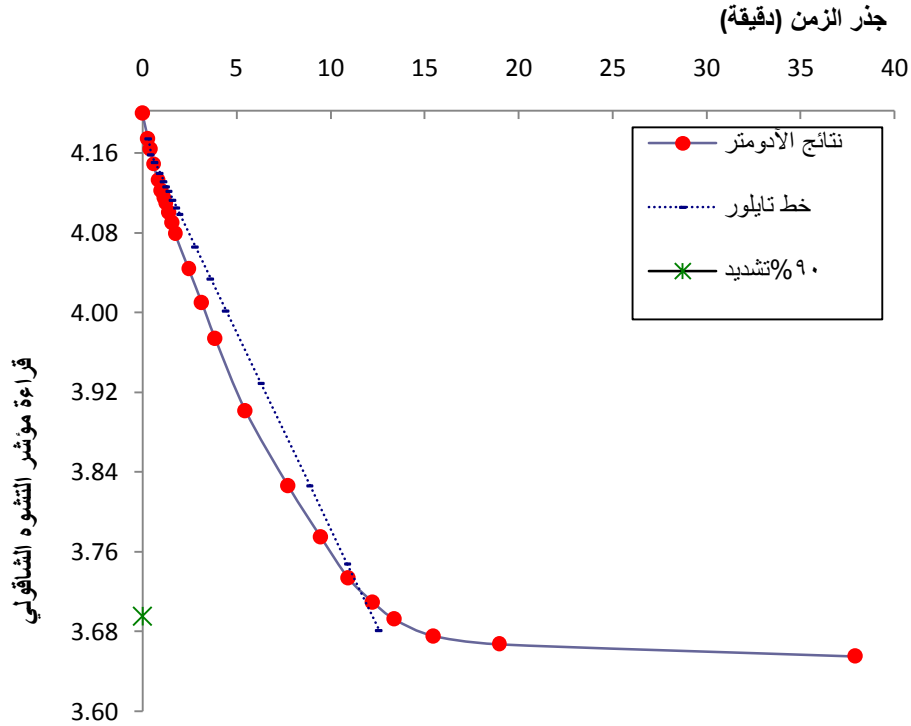
الشكل (2-27) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $0.5\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-28) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $1\text{kg/cm}^2$ :



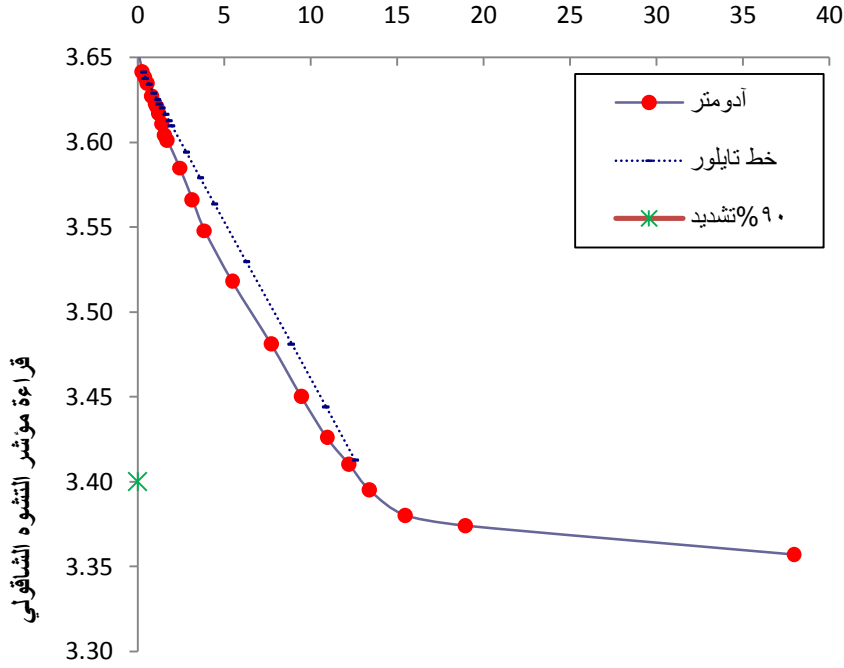
الشكل (2-28) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $1\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-29) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$ :



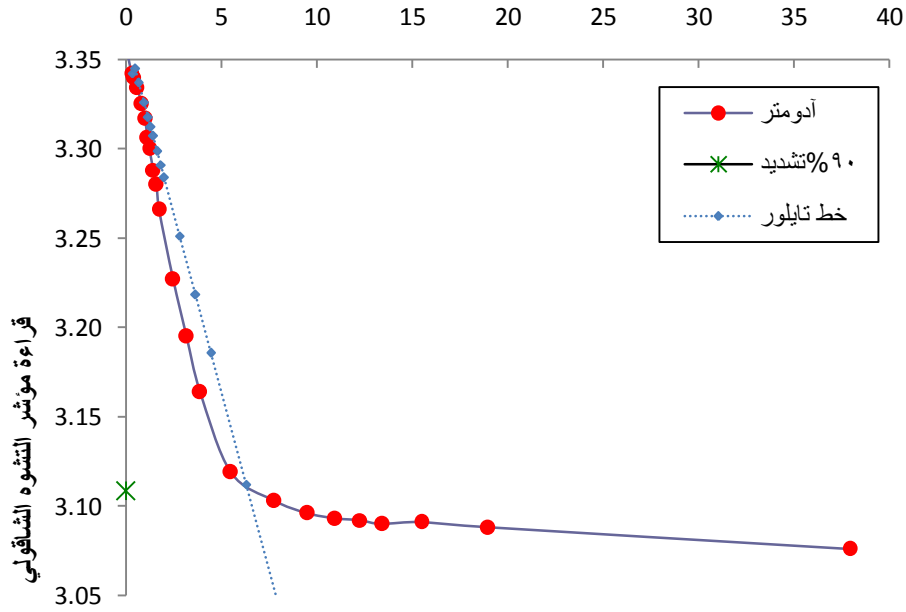
الشكل (2-29) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-30) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$ :  
 جذر الزمن (دقيقة)



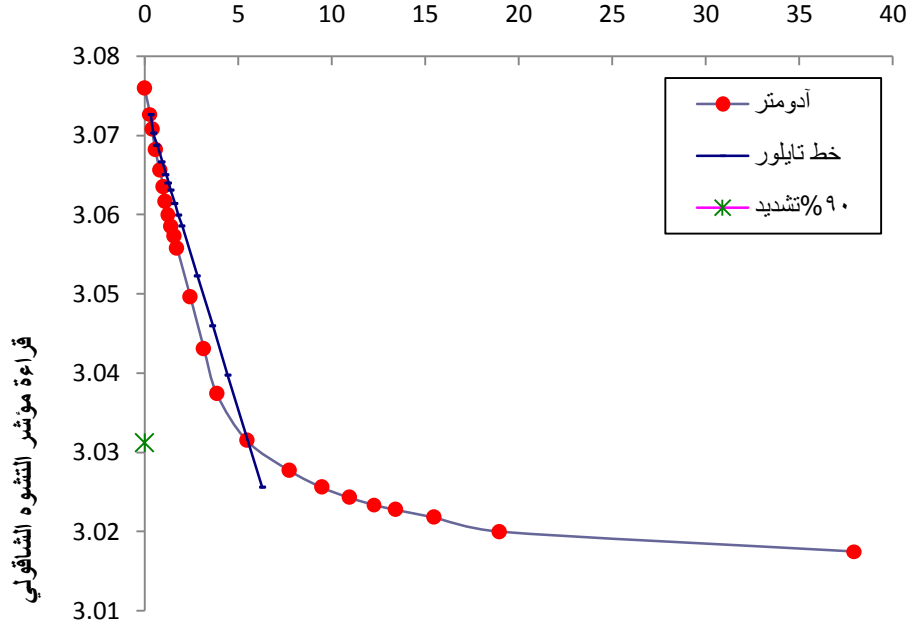
الشكل (2-30) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-31) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $8\text{kg/cm}^2$ :  
 جذر الزمن (دقيقة)



الشكل (2-31) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $8\text{kg/cm}^2$

-ويبين الشكل (2-32) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $10 \text{ kg/cm}^2$  :  
 جذر الزمن (دقيقة)



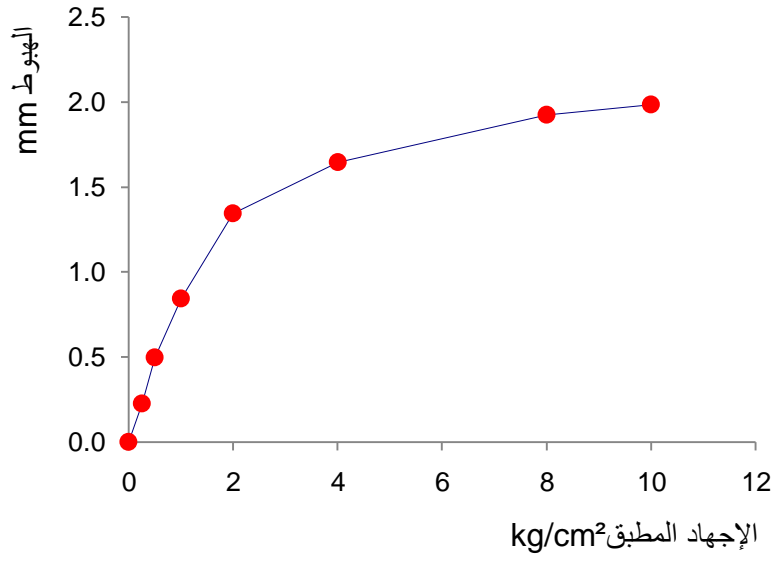
الشكل (2-32) منحنى التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $10 \text{ kg/cm}^2$

-ويبين الجدول (2-9) نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جامعة البعث :

الجدول (2-9) تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق في تربة جامعة البعث

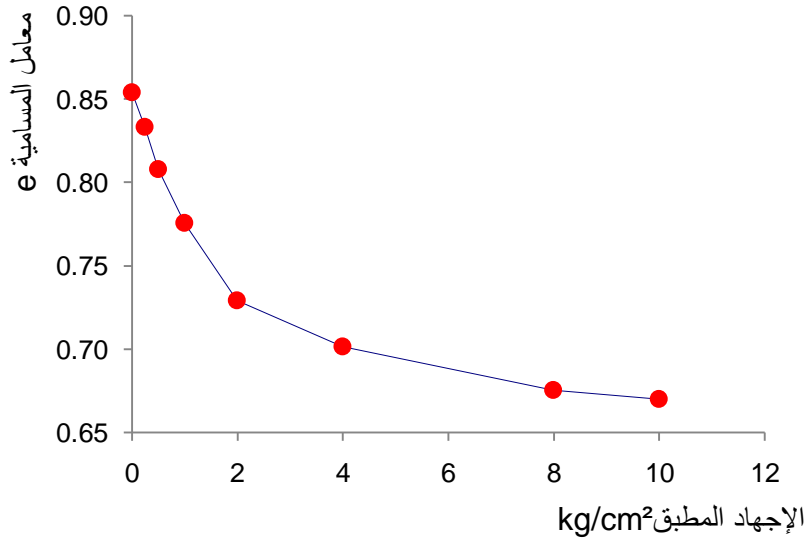
الإجهاد $\sigma$ $\text{kg/cm}^2$	قراءة التشوه	الهبوط $\text{mm}$	معامل المسامية $e$	$mv = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma (1 + e_0)}$
0.00	5.000	0.00	0.8539	-
0.25	4.776	0.22	0.8331	0.045
0.50	4.502	0.50	0.8078	0.055
1.00	4.157	0.84	0.7758	0.035
2.00	3.655	1.35	0.7292	0.025
4.00	3.357	1.64	0.7016	0.007
8.00	3.076	1.92	0.6756	0.004
10.00	3.018	1.98	0.6701	0.001

- ويبين الشكل (2-33) تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جامعة البعث:



الشكل (2-33) تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق في تربة جامعة البعث

- يبين الشكل (2-34) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جامعة البعث :



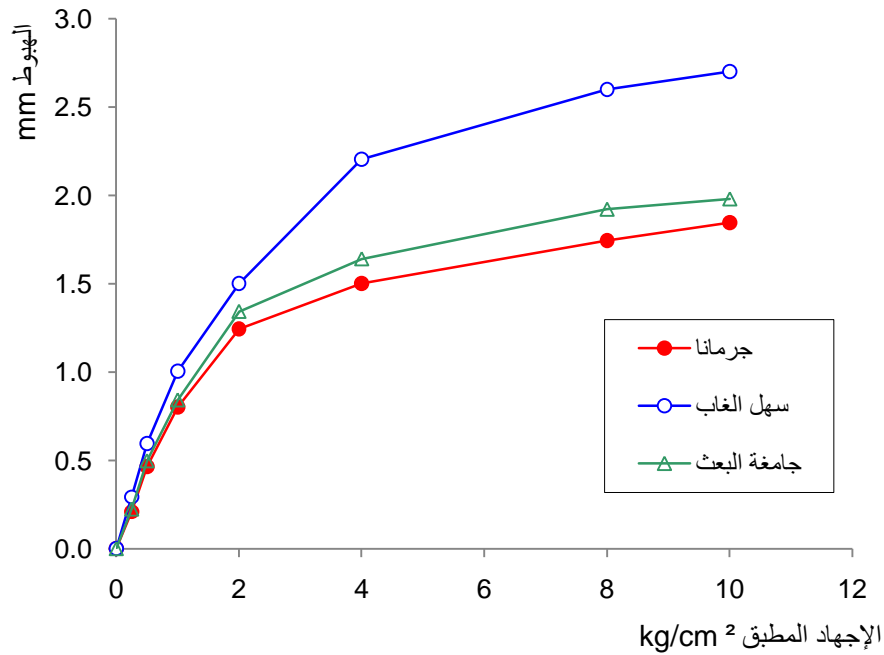
الشكل (2-34) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق في تربة جامعة البعث

-ونلخص نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة بالجدول (2-10) :

الجدول (2-10) تغير الهبوط (mm) مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة

الإجهاد $kg/cm^2$	تربة جرمانا	تربة سهل الغاب	تربة جامعة البعث
0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.21	0.29	0.22
0.50	0.47	0.60	0.50
1.00	0.80	1.01	0.84
2.00	1.24	1.50	1.35
4.00	1.50	2.21	1.64
8.00	1.75	2.60	1.92
10.00	1.85	2.70	1.98

-ويبين الشكل (2-35) نتائج تغير الهبوط مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة :



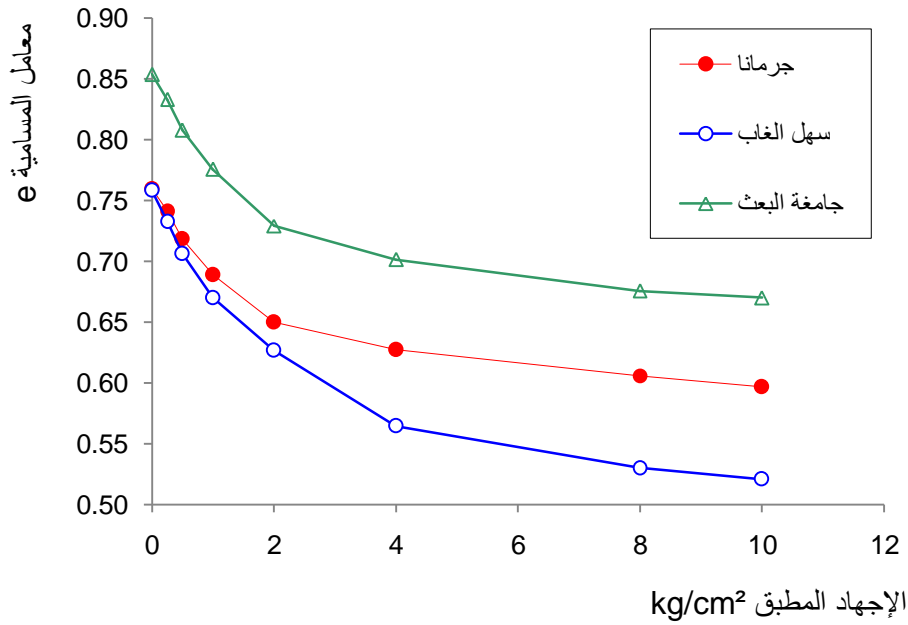
الشكل (2-35) نتائج الهبوط مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة

-ونلخص نتائج تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة بالجدول (2-11) :

الجدول (2-11) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة

الإجهاد $kg/cm^2$	تربة جرمانا	تربة سهل الغاب	تربة جامعة البعث
0.00	0.7595	0.7585	0.8539
0.25	0.7411	0.7328	0.8331
0.50	0.7185	0.7062	0.8078
1.00	0.6888	0.6700	0.7758
2.00	0.6500	0.6266	0.7292
4.00	0.6272	0.5646	0.7016
8.00	0.6060	0.5300	0.6756
10.00	0.5969	0.5209	0.6701

-ويبين الشكل (2-36) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة :



الشكل (2-36) تغير معامل المسامية مع الإجهاد المطبق للترب المدروسة

من الشكل ( 2-35 ) والجدول ( 2-10 ) نجد أن أكبر قيمة للهبوط (2.7mm) حصلت في تربة سهل الغاب ( الغضار بنسبة 52.5% ) ، ثم الهبوط ( 1.98mm ) في تربة جامعة البعث (الغضار بنسبة 42.8% ) ، ثم الهبوط (1.85mm) في تربة جرمانا (نسبة الغضار 31.4% ) ، وأكبر قيمة لتغير الهبوط من أجل تربة جرمانا وتربة جامعة البعث حصلت عند تطبيق الإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  ، أما من أجل تربة سهل الغاب نتجت أكبر قيمة لتغير الهبوط عند الإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$  .

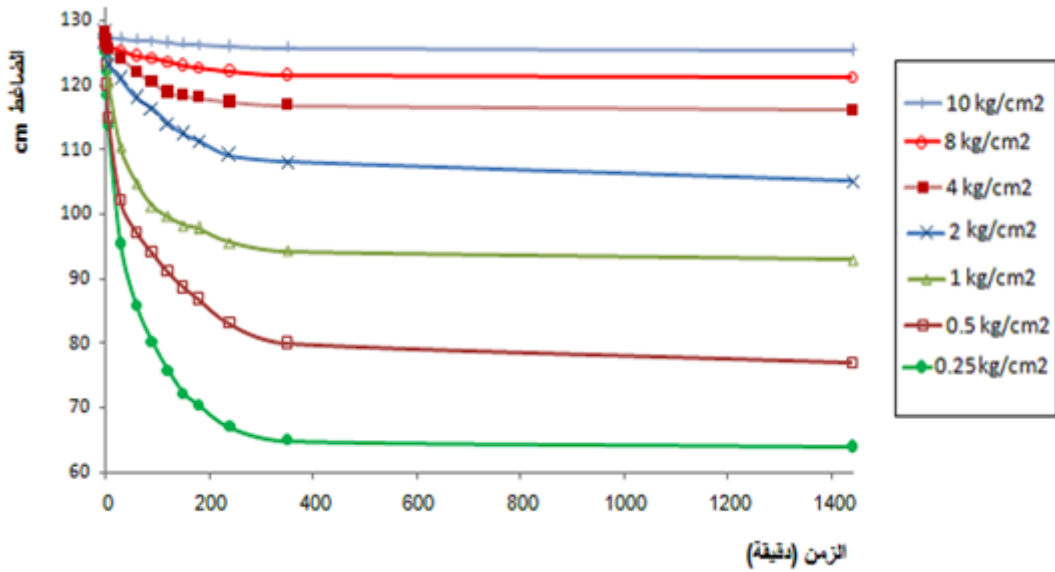


### 3-2- نتائج تجارب النفاذية :

يبين الجدول (2-12) والشكل (2-37) نتائج تغير الضاغط مع الزمن من أجل تربة جرمانا :

الجدول (2-12) تغير الضاغط (cm) مع الزمن من أجل الإجهادات المطبقة في تربة جرمانا

الزمن (دقيقة)	الإجهادات المطبقة ( kg/cm <sup>2</sup> )						
	0.25	0.5	1	2	4	8	10
0	128.0	128.0	128.0	128.0	128.0	128.0	128.0
1	125.1	126.0	126.3	126.5	126.8	127.1	127.7
2	122.1	123.2	125.0	126.0	126.5	126.8	127.5
3	118.4	120.0	123.3	125.0	126.0	126.5	127.4
6	113.6	114.8	120.5	123.2	125.5	126.0	127.3
30	95.4	102.0	110.3	120.9	124.0	125.2	127.1
60	85.8	97.1	104.7	118.0	122.0	124.5	126.9
90	80.2	94.0	101.2	116.3	120.4	124.0	126.7
120	75.7	91.0	99.6	114.0	118.8	123.5	126.5
150	72.1	88.6	98.3	112.3	118.3	123.0	126.3
180	70.4	86.8	97.8	111.3	118.0	122.6	126.1
240	67.0	83.0	95.6	109.0	117.3	122.1	125.9
350	64.9	80.0	94.3	108.0	116.8	121.5	125.7
1440	64.0	76.9	92.9	105.0	116.0	121.0	125.3



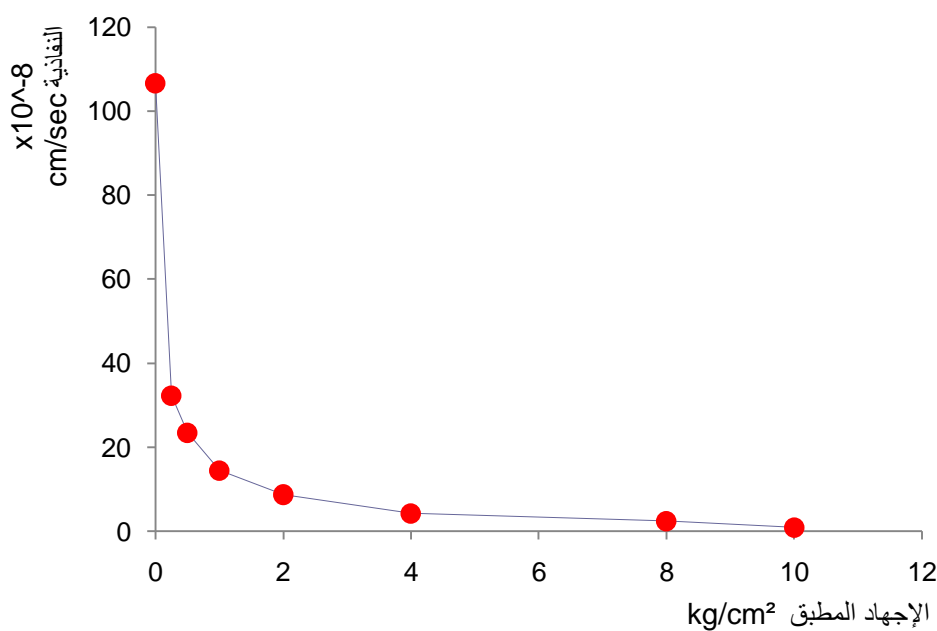
الشكل (2-37) تغير الضاغط مع الزمن من أجل الإجهادات المطبقة في تربة جرمانا

- ويبين الجدول (2-13) نتائج تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة جرمانا :

الجدول (2-13) تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة جرمانا

الإجهاد (kg/cm <sup>2</sup> )	قراءة التشوه	مسار الرشح (mm)	الضاغط البدائي (cm)	الضاغط النهائي (cm)	الزمن (ساعة)	النفاذية (cm/sec)
0.00	5.000	20.0	128	13.3	24	1.1E-06
0.25	4.791	19.8	128	64.0	24	3.2E-07
0.50	4.535	19.5	128	76.9	24	2.3E-07
1.00	4.197	19.2	128	92.9	24	1.4E-07
2.00	3.756	18.8	128	105.0	24	8.7E-08
4.00	3.496	18.5	128	116.0	24	4.3E-08
8.00	3.255	18.3	128	121.0	24	2.4E-08
10.00	3.152	18.2	128	125.3	24	9.1E-09

- ويبين الشكل (2-38) نتائج تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة جرمانا :

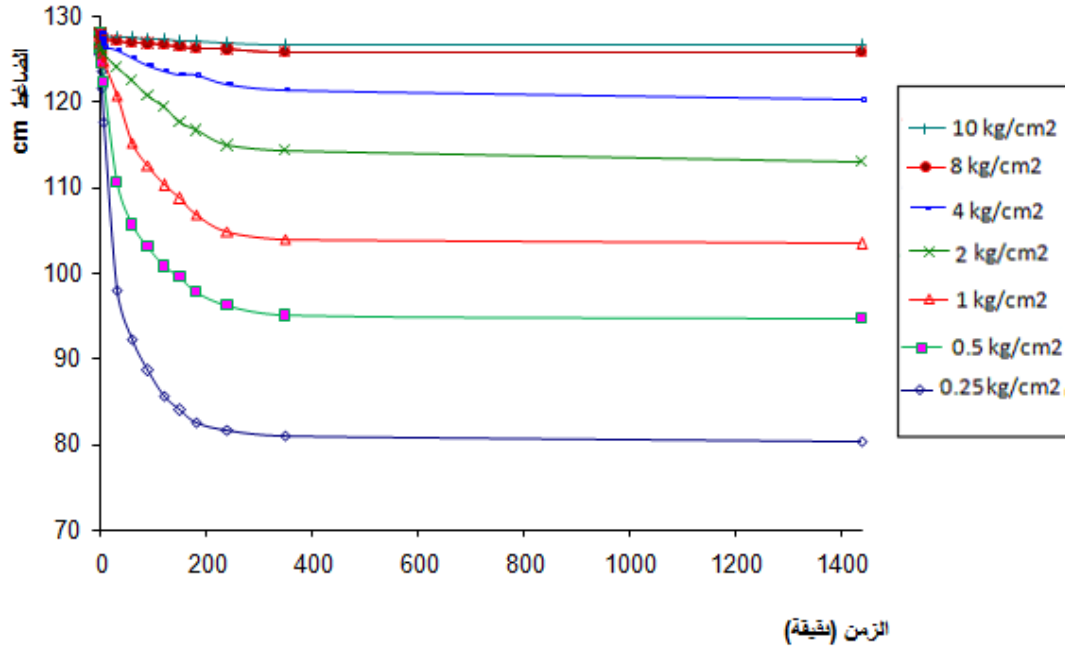


الشكل (2-38) تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة جرمانا

- يبين الجدول (2-14) والشكل (2-39) نتائج تغير الضاغط مع الزمن من أجل الإجهادات المطبقة من أجل تربة سهل الغاب :

الجدول (2-14) تغير الضاغط (cm) مع الزمن من أجل الإجهادات المطبقة في تربة سهل الغاب

الزمن (دقيقة)	الإجهادات المطبقة $kg/cm^2$						
	0.25	0.5	1	2	4	8	10
0	128.0	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00
1	125.5	126.30	126.90	127.20	127.43	127.7	127.90
2	123.6	125.30	126.21	126.67	127.05	127.5	127.85
3	121.7	124.50	125.56	126.17	126.86	127.39	127.85
6	117.7	122.30	124.80	125.60	126.40	127.36	127.74
30	98.0	110.60	120.80	124.00	126.10	127.13	127.55
60	92.2	105.60	115.20	122.50	125.20	126.9	127.47
90	88.6	103.10	112.60	120.80	124.30	126.86	127.36
120	85.6	100.80	110.30	119.50	123.70	126.67	127.32
150	84.0	99.50	108.70	117.60	123.20	126.55	127.16
180	82.6	97.80	106.80	116.70	123.10	126.3	127.05
240	81.7	96.30	104.80	114.90	122.10	126.17	126.82
350	81.0	95.00	104.00	114.30	121.40	125.9	126.63
1440	80.3	94.70	103.40	113.10	120.20	125.8	126.60



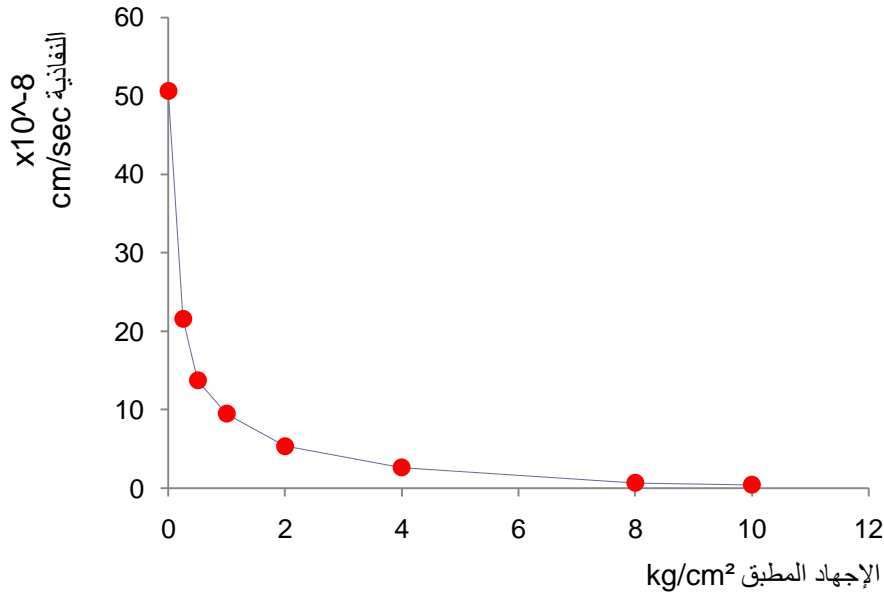
الشكل (2-39) تغير الضاغط مع الزمن في تربة سهل الغاب

ويبين الجدول (2-15) نتائج تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب :

الجدول (2-15) تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة سهل الغاب

الإجهاد kg/cm <sup>2</sup>	قراءة التشوه	مسار الرشح mm	الضاغط البداي (cm)	الضاغط النهائي ( cm)	الزمن (ساعة)	النفاذية cm/sec
0.00	5.000	20.0	128	43.6	24	5.1E-07
0.25	4.708	19.7	128	80.3	24	2.2E-07
0.50	4.405	19.4	128	94.7	24	1.4E-07
1.00	3.994	19.0	128	103.4	24	9.5E-08
2.00	3.500	18.5	128	113.1	24	5.4E-08
4.00	2.795	17.8	128	120.2	24	2.6E-08
8.00	2.401	17.4	128	125.8	24	7.1E-09
10.00	2.298	17.3	128	126.6	24	4.5E-09

ويبين الشكل (2-40) منحنى تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة سهل الغاب :

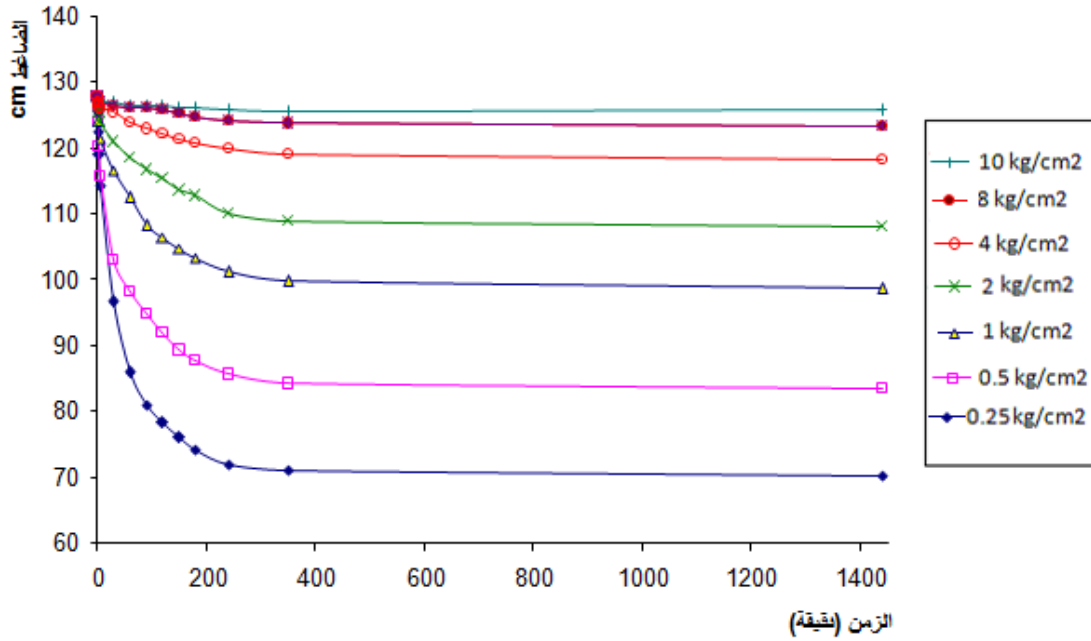


الشكل (2-40) تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة سهل الغاب

ويبين الجدول (2-16) والشكل (2-41) نتائج تغير الضاغط مع الزمن من أجل الإجهادات المطبقة في تربة جامعة البعث :

الجدول (2-16) تغير الضاغط (cm) مع الزمن من أجل الإجهادات المطبقة في تربة جامعة البعث

الزمن (دقيقة)	الإجهادات المطبقة $\text{kg/cm}^2$						
	0.25	0.5	1	2	4	8	10
0	128.0	128.0	128.0	128.0	128.0	128.0	128.0
1	125.5	126.3	126.6	126.8	127.1	127.7	127.9
2	122.6	124.0	125.9	126.4	126.8	127.5	127.6
3	119.0	120.3	124.1	125.5	126.4	127.1	127.3
6	114.2	115.7	121.4	123.9	126.1	126.9	127.1
30	96.7	103.1	116.7	121.0	125.5	126.6	126.9
60	86.0	98.2	112.5	118.7	124.0	126.3	126.6
90	81.1	94.8	108.3	116.8	123.0	126.2	126.4
120	78.3	92.0	106.5	115.5	122.2	125.9	126.5
150	76.1	89.4	104.8	113.7	121.5	125.4	126.3
180	74.2	87.8	103.3	112.8	120.8	124.8	126.1
240	72.0	85.7	101.2	110.2	120.0	124.2	125.9
350	71.1	84.3	99.8	109.0	119.2	123.8	125.7
1440	70.3	83.5	98.7	108.2	118.4	123.4	125.8



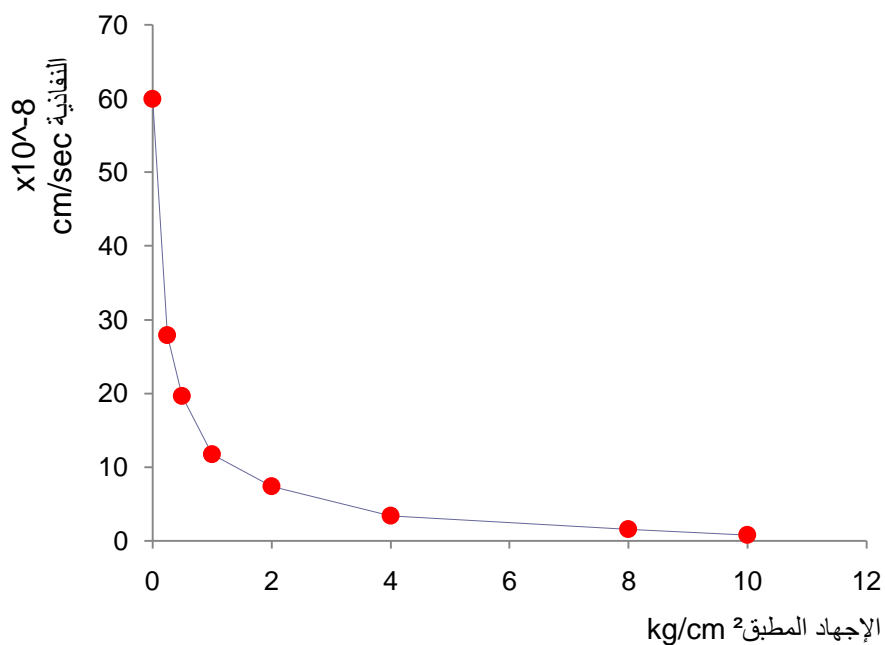
الشكل (2-41) منحنيات تغير الضاغط مع الزمن لتربة جامعة البعث

- يبين الجدول (2-17) نتائج تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جامعة البعث :

الجدول (2-17) تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق في تربة جامعة البعث

الإجهاد kg/cm <sup>2</sup>	قراءة التشوه	مسار الرشح (mm)	الضاغط البدائي (cm)	الضاغط النهائي ( cm)	الزمن (ساعة)	النفاذية cm/sec
0.00	5.000	20.0	128	35.8	24	6.0E-07
0.25	4.776	19.8	128	70.3	24	2.8E-07
0.50	4.502	19.5	128	83.5	24	2.0E-07
1.00	4.157	19.2	128	98.7	24	1.2E-07
2.00	3.655	18.7	128	108.2	24	7.4E-08
4.00	3.357	18.4	128	118.4	24	3.4E-08
8.00	3.076	18.1	128	123.4	24	1.6E-08
10.00	3.018	18.0	128	125.8	24	7.3E-09

-ويبين الشكل (2-42) نتائج تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق من أجل تربة جامعة البعث :

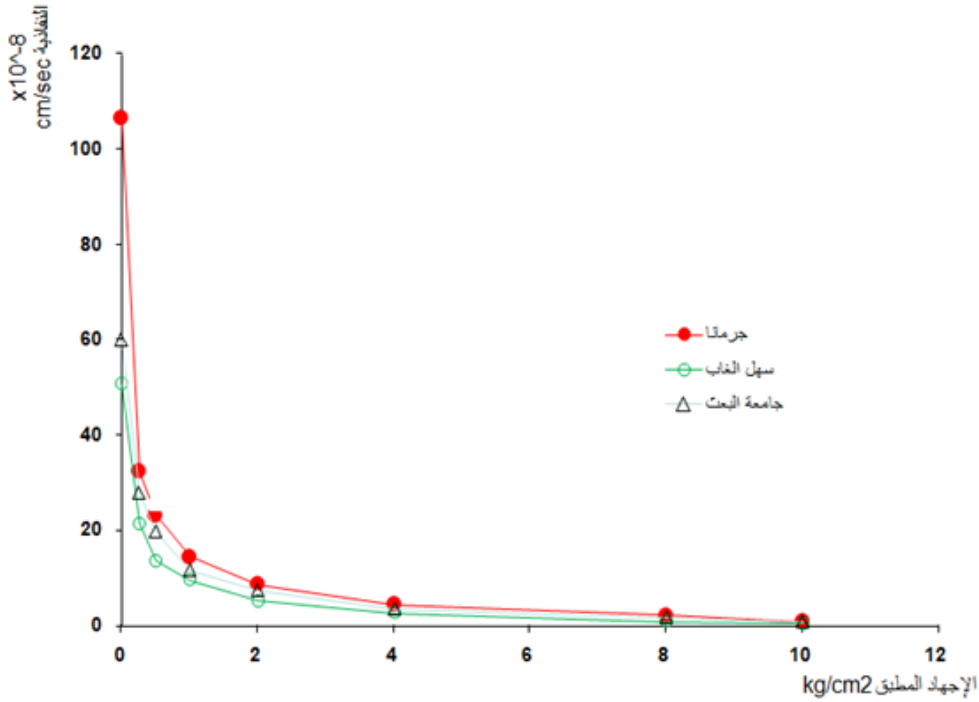


الشكل (2-42) منحنى تغير النفاذية مع الإجهاد المطبق لتربة جامعة البعث

ويوضح الجدول (2-18) والشكل (2-43) نتائج تغير معامل النفاذية مع الإجهاد المطبق من أجل أنواع الترب المدروسة:

الجدول (2-18) تغير معامل النفاذية مع الإجهاد المطبق في الترب المدروسة

معامل النفاذية cm/sec			الإجهاد kg/cm <sup>2</sup>
تربة جامعة البعث	تربة سهل الغاب	تربة جرمانا	
6.0E-07	5.1E-07	1.1E-06	0.00
2.8E-07	2.2E-07	3.2E-07	0.25
2.0E-07	1.4E-07	2.3E-07	0.50
1.2E-07	9.5E-08	1.4E-07	1.00
7.4E-08	5.4E-08	8.7E-08	2.00
3.4E-08	2.6E-08	4.3E-08	4.00
1.6E-08	7.1E-09	2.4E-08	8.00
7.3E-09	4.5E-09	9.1E-09	10.00



الشكل (2-43) تغير معامل النفاذية مع الإجهاد المطبق في الترب المدروسة

- ويجب الإشارة إلى أن قيم معامل النفاذية الناتجة من استخدام علاقة الضاغط المتغير

$$K = 2.3 \frac{L.a}{A.t} \lg \frac{h_1}{h_2}$$

تعطي نتائج أكثر دقة كلما كان نسبة الغضار في التربة أكبر.

# الفصل الثالث

## التحليل الرياضي والحسابي

- ١ - حساب الهبوط مع الزمن ب تطبيق نظرية الانضغاط الرشحي.
- ٢ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جرمانا.
- ٣ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة سهل الغاب .
- ٤ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جامعة البعث .



### 3- التحليل الرياضي والحسابي :

#### 3-1- حساب الهبوط مع الزمن بتطبيق نظرية الإنضغاط الرشحي:

تم حساب تطور الهبوط مع الزمن من أجل كل نوع من الترب المدروسة ، بتطبيق المعادلة التفاضلية لنظرية الإنضغاط الرشحي عند الإجهاد الذي أعطى أكبر قيمة لتغير الهبوط ، وذلك من أجل توضيح الفروقات بين القيم التجريبية والقيم الحسابية قدر الإمكان ، فمن أجل تربة جرمانا وتربة جامعة البعث تم حساب الهبوط مع الزمن عند الإجهاد (  $2\text{kg/cm}^2$  ) ، أما من أجل تربة سهل الغاب تم حساب الهبوط مع الزمن عند الإجهاد (  $4\text{kg/cm}^2$  ) وذلك وفق الحالتين :

##### 3-1-1- حساب الهبوط مع الزمن ( بـاعتبار معامل النفاذية ثابت ) :

تم تطبيق المعادلة التفاضلية لنظرية الإنضغاط الرشحي في المجال الكلي للإنضغاط الرشحي وفق الخطوات التالية :

١ حساب معامل الإنضغاط الرشحي ( قيمة ثابتة ) :  $C_V = \frac{0.197.h^2}{t_{50}}$

٢ حساب معامل النفاذية ( قيمة ثابتة ) :  $k = C_v.m_v.\gamma_w$

٣ حساب الهبوط مع الزمن (بالاكتفاء بخمس حدود من حدود السلسلة ) :

$$S_i = S \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \left( e^{-N} + \frac{1}{9}.e^{-9N} + \frac{1}{25}.e^{-25N} + \frac{1}{49}.e^{-49N} + \frac{1}{81}.e^{-81N} \right) \right]$$
$$: N = \frac{\pi^2.C_V.T}{4.h^2}$$

##### 3-1-2- حساب الهبوط مع الزمن (باعتبار معامل النفاذية متغير ) :

تم تطبيق المعادلة التفاضلية لنظرية الإنضغاط الرشحي في مجالات جزئية من الإنضغاط الرشحي وفق الخطوات التالية :

١ تقسيم الإنضغاط الرشحي لأربع مجالات متساوية واعتبار معامل النفاذية ثابتاً في كل منها .

٢ حساب معامل الإنضغاط الرشحي في كل مجال :  $C_{V_i} = \frac{T_{V_i}.h_i^2}{t_i}$

٣ حساب معامل النفاذية في كل مجال :  $k_i = C_{v_i}.m_v.\gamma_w$

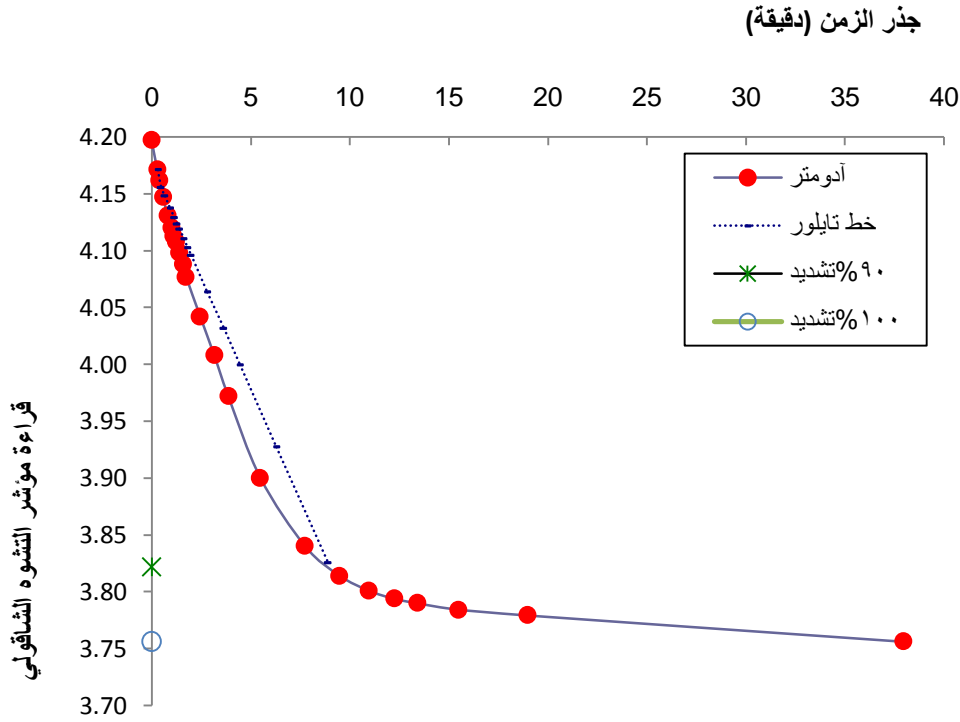
٤ حساب الهبوط مع الزمن (بالاكتفاء بخمس حدود من حدود السلسلة ) :

$$(S_t)_i = S \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \left( e^{-N_i} + \frac{1}{9} e^{-9N_i} + \frac{1}{25} e^{-25N_i} + \frac{1}{49} e^{-49N_i} + \frac{1}{81} e^{-81N_i} \right) \right]$$

$$: N_i = \frac{\pi^2 \cdot C_{V_i}}{4 \cdot h_i^2} \cdot t$$

### 2-3- حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جرمانا :

تم اتباع الخطوات السابقة في حساب الهبوط مع الزمن في الحالتين معامل النفاذية ثابت ومتغير من أجل تربة جرمانا بلإجهاد  $(2 \text{kg/cm}^2)$  ، حيث نتائج تجربة التشديد في جهاز الأدومتر كانت وفق المخطط في الشكل (3-1) :



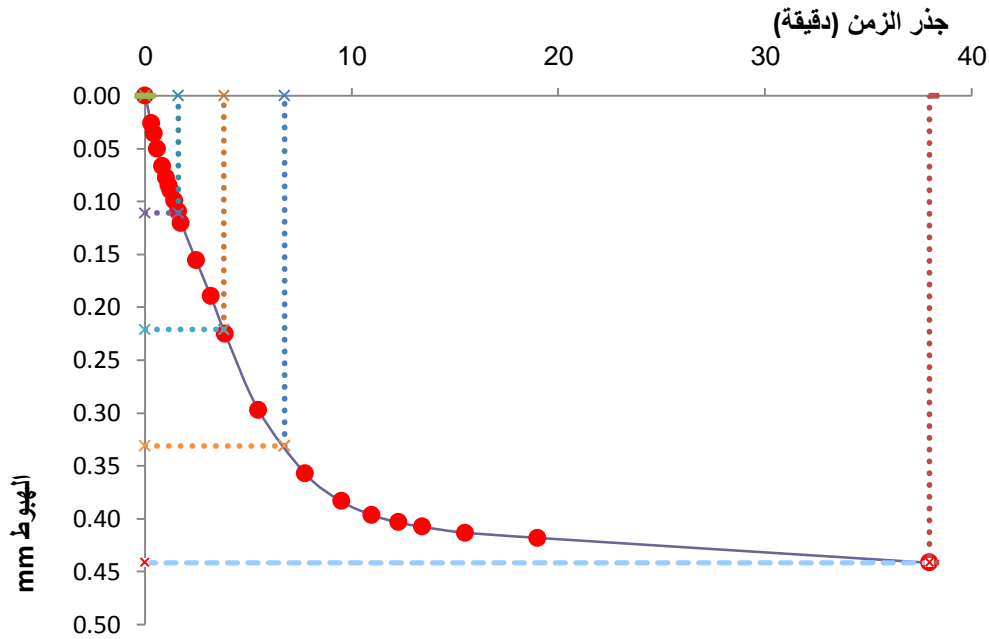
الشكل (3-1) نتائج تجربة التشديد لتربة جرمانا بالإجهاد  $2 \text{kg/cm}^2$

- ومن أجل حساب الهبوط مع الزمن في حالة اعتبار معامل النفاذية ثابت كانت قيم معامل الإنضغاط الرشحي والنفاذية ومعامل الإنضغاط الحجمي وفق الجدول (3-1) :

الجدول (3-1) اعتبار معامل النفاذية ثابت أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جرمانا

معامل النفاذية cm/sec	معامل الإنضغاط الحجمي mv	معامل الإنضغاط الرشحي cv(cm <sup>2</sup> /sec)
4.63E-09	0.022	0.00021

- ومن أجل حساب الهبوط مع الزمن في حالة اعتبار معامل النفاذية متغير تم تقسيم الإنضغاط الرشحي لأربع مجالات متساوية كما في الشكل (3-2) :



الشكل (3-2) تقسيم الإنضغاط الرشحي لتربة جرمانا لأربع مجالات متساوية

وتغير معامل النفاذية ومعامل الإنضغاط الرشحي لتربة جرمانا بالإجهاد المطبق

2kg/cm<sup>2</sup> وفق الجدول (3-2) :

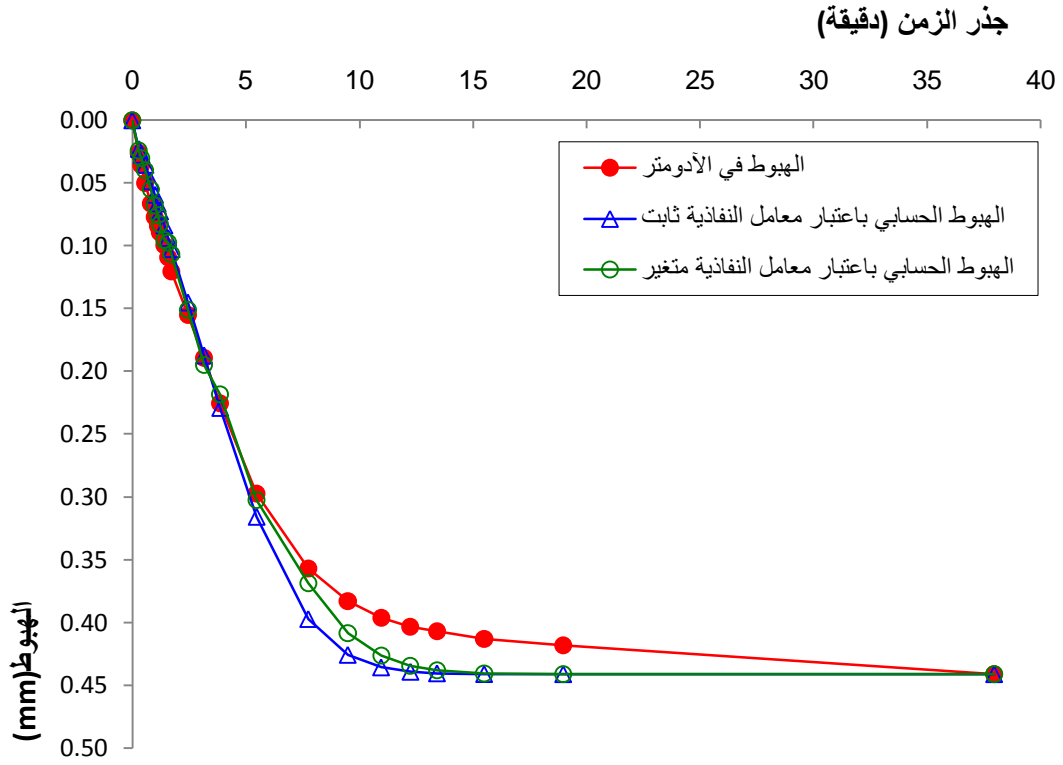
الجدول (3-2) اعتبار معامل النفاذية متغير أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جرمانا

الزمن (دقيقة)	معامل الإنضغاط الرشحي Cvi(cm <sup>2</sup> /sec)	معامل النفاذية Ki(cm/sec)
2	0.00028	6.1E-09
10	0.00023	5.1 E-09
60	0.00019	4.2E-09
1440	0.00016	3.5E-09

- تمت المقارنة بين قيم الهبوط مع الزمن التجريبية الناتجة من تجربة الأومتر وقيم الهبوط مع الزمن الحسابية في الحالتين معامل النفاذية ثابت ومتغير ، وتوضح النتائج في الجدول ( 3-3 ) والشكل (3-3) :

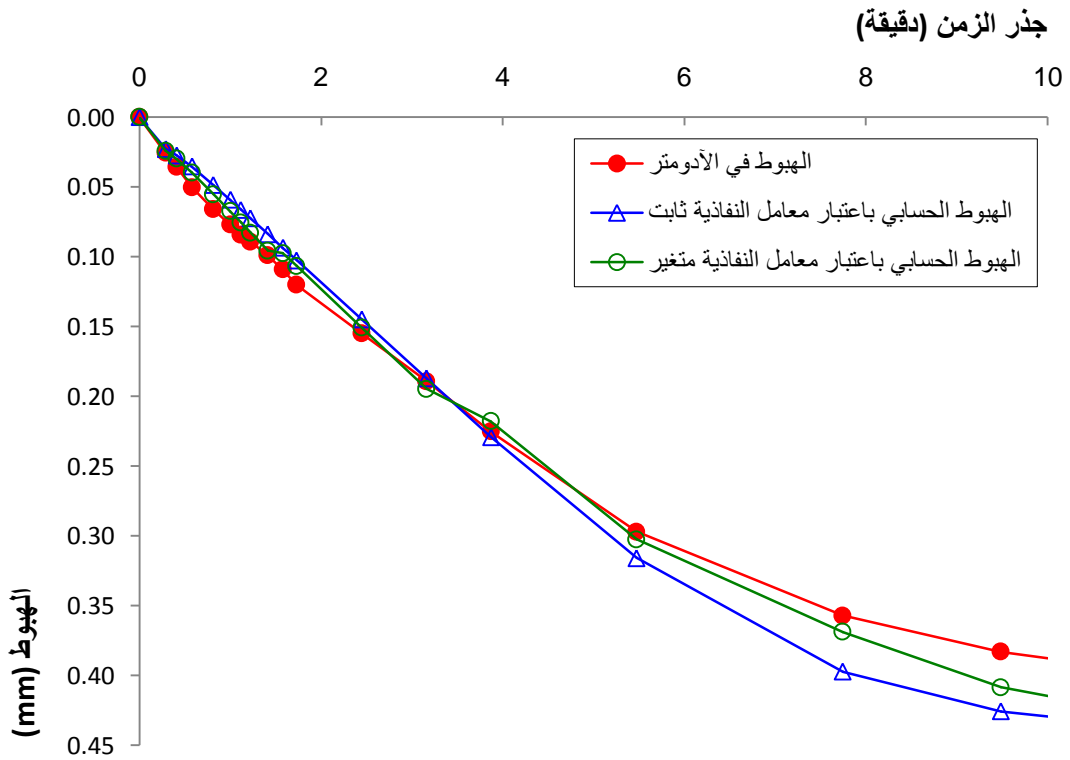
الجدول (3-3) المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جرمانا

الزمن (دقيقة)	الهبوط الناتج في الأومتر (mm)	الهبوط الحسابي (معامل النفاذية ثابت ) (mm)	الهبوط الحسابي (معامل النفاذية متغير ) (mm)
0.00	0.000	0.000	0.000
0.08	0.026	0.023	0.024
0.17	0.036	0.027	0.030
0.33	0.050	0.035	0.040
0.67	0.066	0.049	0.055
1.00	0.077	0.059	0.068
1.25	0.084	0.066	0.076
1.50	0.089	0.073	0.083
2.00	0.099	0.084	0.096
2.50	0.109	0.094	0.097
3.00	0.120	0.103	0.107
6.00	0.155	0.145	0.151
10.00	0.189	0.187	0.195
15.00	0.225	0.229	0.218
30.00	0.297	0.316	0.302
60.00	0.357	0.397	0.369
90.00	0.383	0.426	0.408
120.00	0.396	0.436	0.426
150.00	0.403	0.439	0.435
180.00	0.407	0.441	0.438
240.00	0.413	0.441	0.441
360.00	0.418	0.441	0.441
1440.00	0.441	0.441	0.441



الشكل (3-3) المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جرمانا

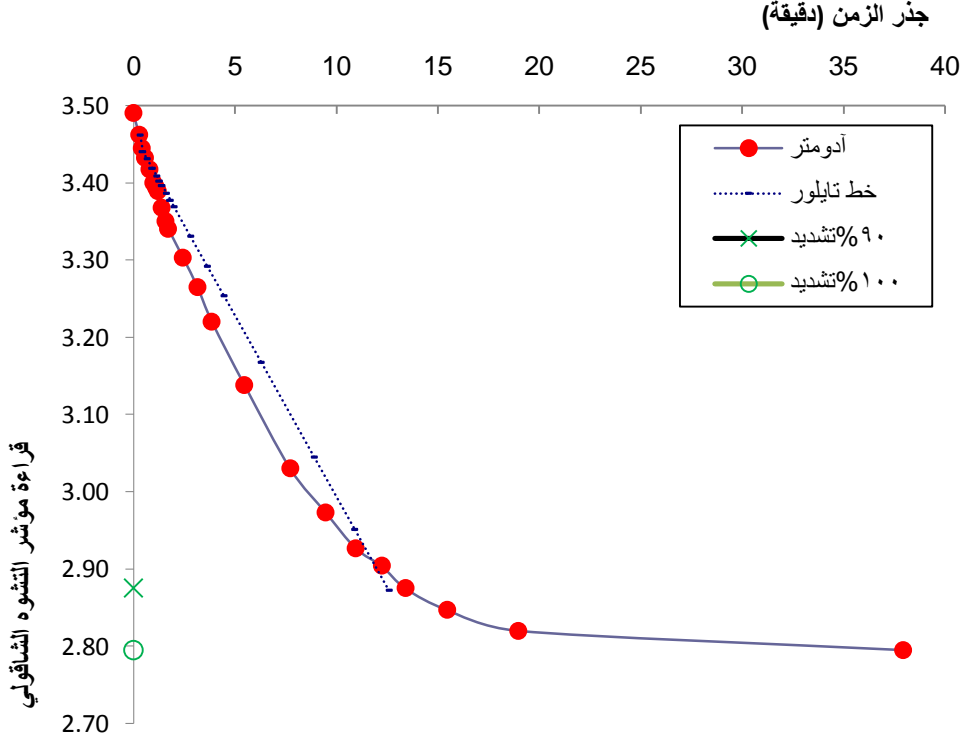
توضيح بداية المخطط كما في الشكل (3-4) :



الشكل (3-4) توضيح بداية المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جرمانا

### 3-3- حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة سهل الغاب :

تم حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة سهل الغاب من أجل الإجهاد المطبق (  $4 \text{ kg/cm}^2$  ) حيث نتائج تجربة التشديد في جهاز الآدومتر كانت وفق الشكل (3-5) :



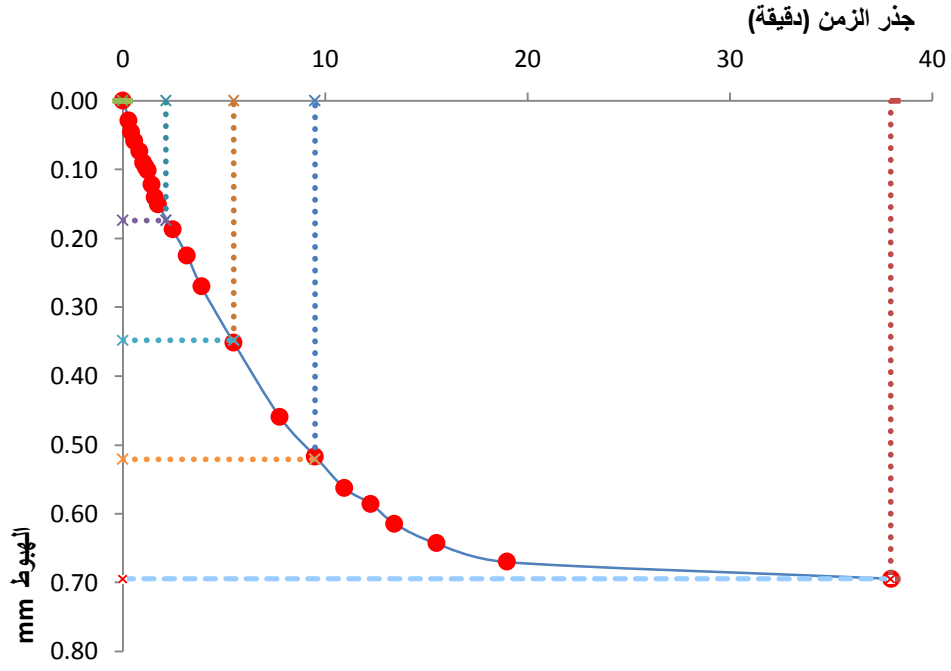
الشكل (3-5) نتائج تجربة التشديد لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $4 \text{ kg/cm}^2$

-وعند حساب الهبوط مع الزمن في حالة اعتبار معامل النفاذية ثابت كانت قيمة معامل الإنضغاط الرشي ومعامل الإنضغاط الحجمي ومعامل النفاذية كما في الجدول (3-4):

الجدول (3-4) اعتبار معامل النفاذية ثابت أثناء الإنضغاط الرشي لتربة سهل الغاب

معامل النفاذية cm/sec	معامل الإنضغاط الحجمي mv	معامل الإنضغاط الرشي Cv(cm <sup>2</sup> /sec)
1.71E-09	0.018	0.000097

-وعند حساب الهبوط مع الزمن في حالة اعتبار معامل النفاذية متغير تم تقسيم الإنضغاط الرشي لأربع أقسام متساوية كما في الشكل (3-6) :



الشكل (3-6) تقسيم الإنضغاط الرشحي لترية سهل الغاب لأربع مجالات متساوية

- تغيير معامل النفاذية ومعامل الإنضغاط الرشحي أثناء الإنضغاط الرشحي لترية سهل الغاب من أجل الإجهاد المطبق  $4\text{kg/cm}^2$  وفق الجدول (3-5) :

الجدول (3-5) اعتبار معامل النفاذية متغير أثناء الإنضغاط الرشحي لترية سهل الغاب

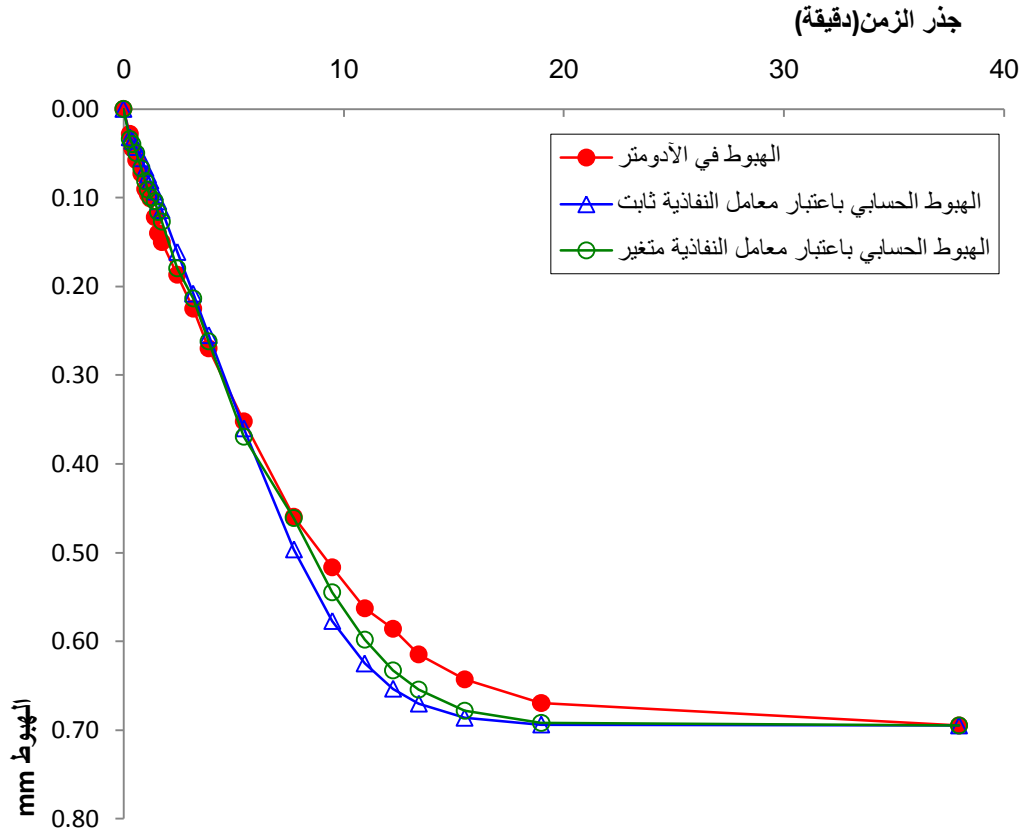
الزمن (دقيقة)	معامل الإنضغاط الرشحي $C_{vi}(\text{cm}^2/\text{sec})$	معامل النفاذية $K_i(\text{cm}/\text{sec})$
2	0.00015	2.7E-09
10	0.00012	2.2E-09
60	0.00010	1.8E-09
1440	0.00008	1.4E-09

تمت المقارنة بين قيم الهبوط مع الزمن التجريبية في الآدومتر لتربة سهل الغاب من أجل الإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$  وقيم الهبوط مع الزمن الحسابية من أجل الحالتين معامل النفاذية ثابت ومتغير كما هو موضح في الجدول (3-6) والشكل (3-7) :

الجدول (3-6) المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة سهل الغاب

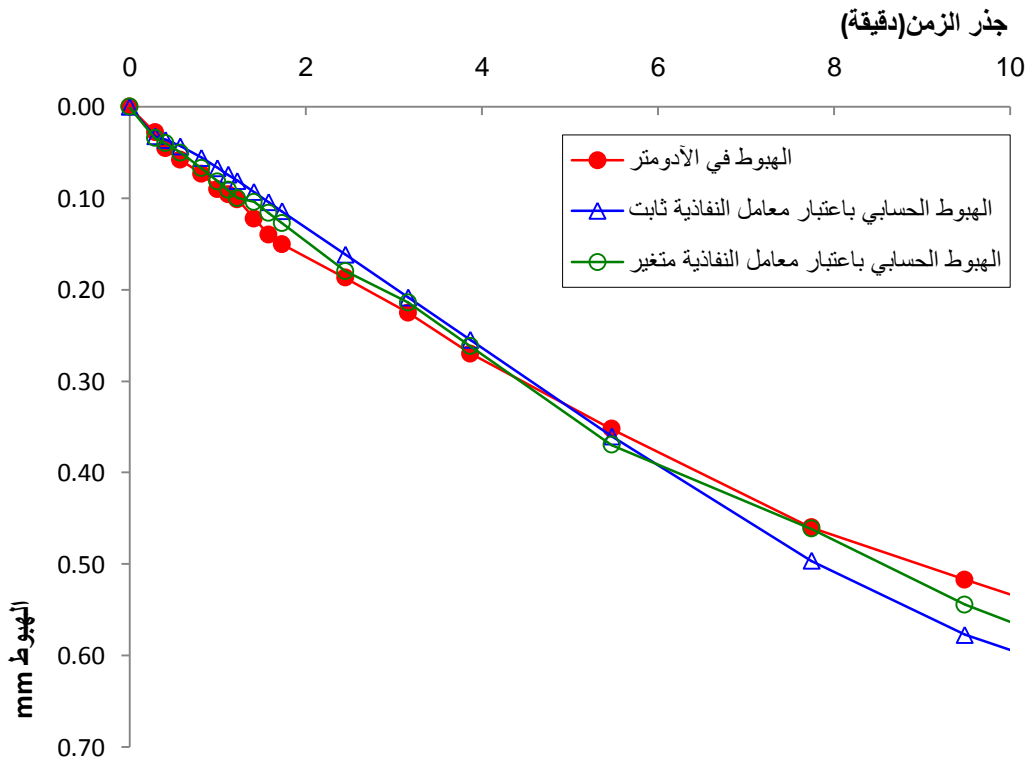
الزمن (دقيقة)	الهبوط الناتج في الآدومتر (mm)	الهبوط الحسابي (اعتبار معامل النفاذية ثابت) (mm)	الهبوط الحسابي (اعتبار معامل النفاذية متغير) (mm)
0.00	0.000	0.000	0.000
0.08	0.028	0.032	0.034
0.17	0.045	0.036	0.040
0.33	0.058	0.043	0.050
0.67	0.073	0.056	0.067
1.00	0.090	0.067	0.081
1.25	0.096	0.074	0.091
1.50	0.101	0.081	0.100
2.00	0.122	0.093	0.104
2.50	0.140	0.104	0.116
3.00	0.150	0.114	0.127
6.00	0.187	0.161	0.180
10.00	0.225	0.208	0.214
15.00	0.270	0.255	0.262
30.00	0.352	0.360	0.370
60.00	0.460	0.497	0.461
90.00	0.517	0.577	0.545
120.00	0.563	0.625	0.598
150.00	0.586	0.654	0.633
180.00	0.615	0.670	0.655
240.00	0.643	0.686	0.678
360.00	0.670	0.694	0.692
1440.00	0.695	0.695	0.695





الشكل (3-7) المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة سهل الغاب

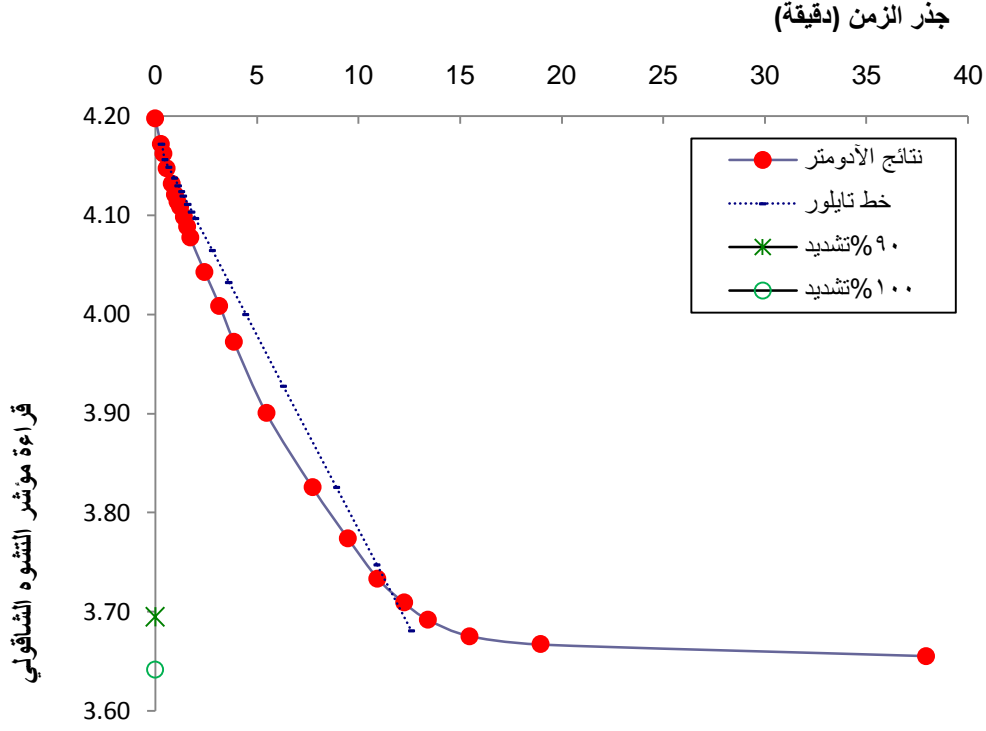
- توضيح بداية المخطط السابق كما في الشكل (3-8) :



الشكل (3-8) توضيح بداية المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة سهل الغاب

٤ ٣ - حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جامعة البعث :

تم حساب الهبوط مع الزمن من أجل تربة جامعة البعث بالإجهاد ( $2 \text{ kg/cm}^2$ ) في الحالتين معامل النفاذية ثابت ومتغير حيث نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد ( $2 \text{ kg/cm}^2$ ) في جهاز الأدومتر كانت وفق الشكل (9-3) :



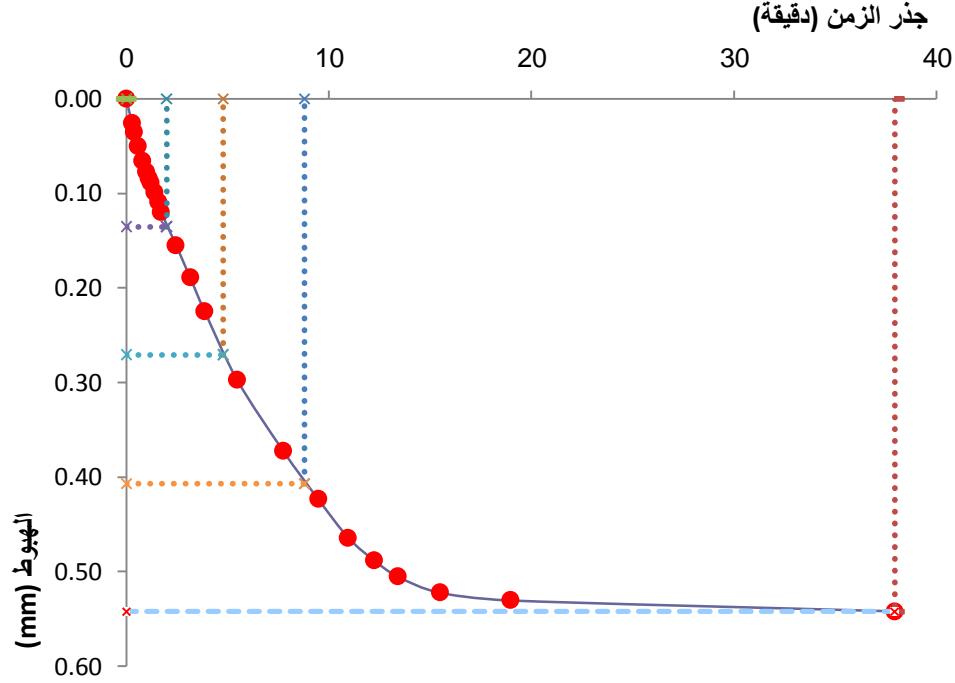
الشكل (9-3) نتائج تجربة التشديد لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $2 \text{ kg/cm}^2$

- وعند حساب الهبوط مع الزمن في حالة اعتبار معامل النفاذية ثابت كانت قيمة معامل الإنضغاط الرشيحي ومعامل الإنضغاط الحجمي ومعامل النفاذية كما في الجدول (7-3) :

الجدول (7-3) اعتبار معامل النفاذية ثابت أثناء الإنضغاط الرشيحي لتربة جامعة البعث

معامل النفاذية cm/sec	معامل الإنضغاط الحجمي mv	معامل الإنضغاط الرشيحي cv(cm <sup>2</sup> /sec)
2.75E-09	0.025	0.00011

وعند حساب الهبوط مع الزمن باعتبار معامل النفاذية متغير تم تقسيم الإنضغاط الرشحي لأربع أقسام متساوية كما في الشكل (3-10) :



الشكل (3-10) تقسيم الإنضغاط الرشحي لتربة جامعة البعث لأربع مجالات متساوية

وتغير معامل النفاذية ومعامل الإنضغاط الرشحي أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  وفق الجدول (3-8) :

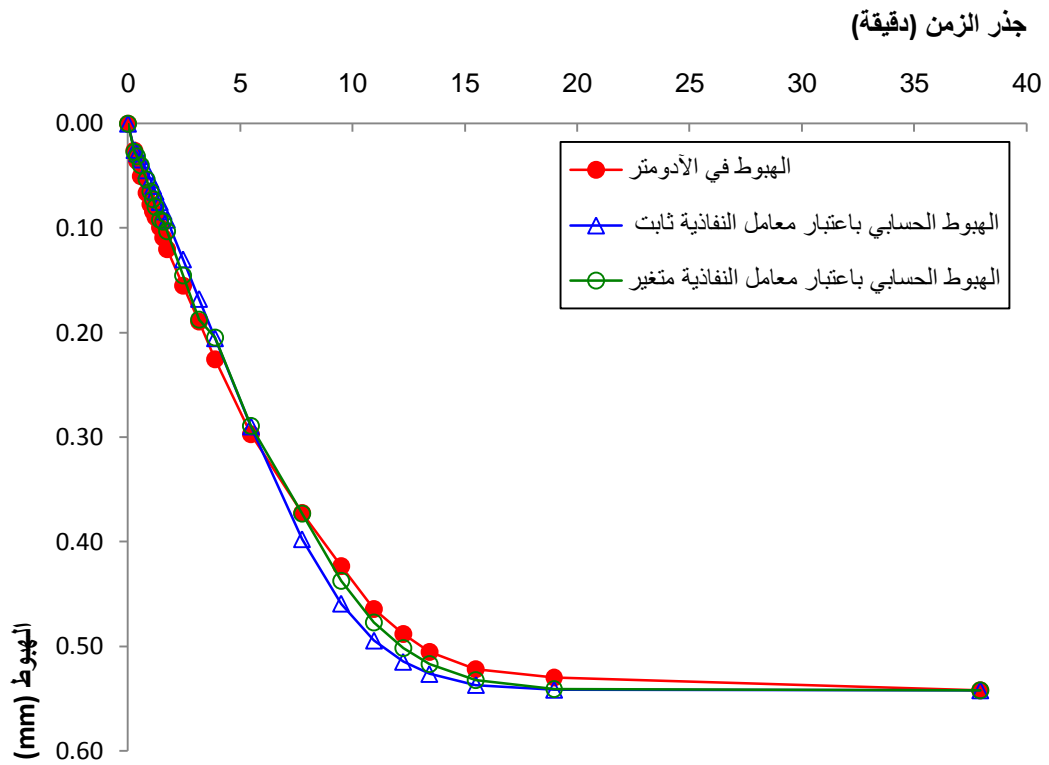
الجدول (3-8) اعتبار معامل النفاذية متغير أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جامعة البعث

الزمن (دقيقة)	معامل الإنضغاط الرشحي $C_{vi}$ ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )	معامل النفاذية $K_i$ ( $\text{cm}/\text{sec}$ )
2	0.00017	4.3E-09
10	0.00014	3.5E-09
60	0.00011	2.8E-09
1440	0.000095	2.4E-09

تمت المقارنة بين قيم الهبوط مع الزمن التجريبية في الأدومتر لتربة جامعة البعث من أجل الإجهاد  $2 \text{ kg/cm}^2$  وقيم الهبوط مع الزمن الحسابية في الحالتين معامل النفاذية ثابت ومتغير وفق الجدول (3-9) والشكل (3-11):

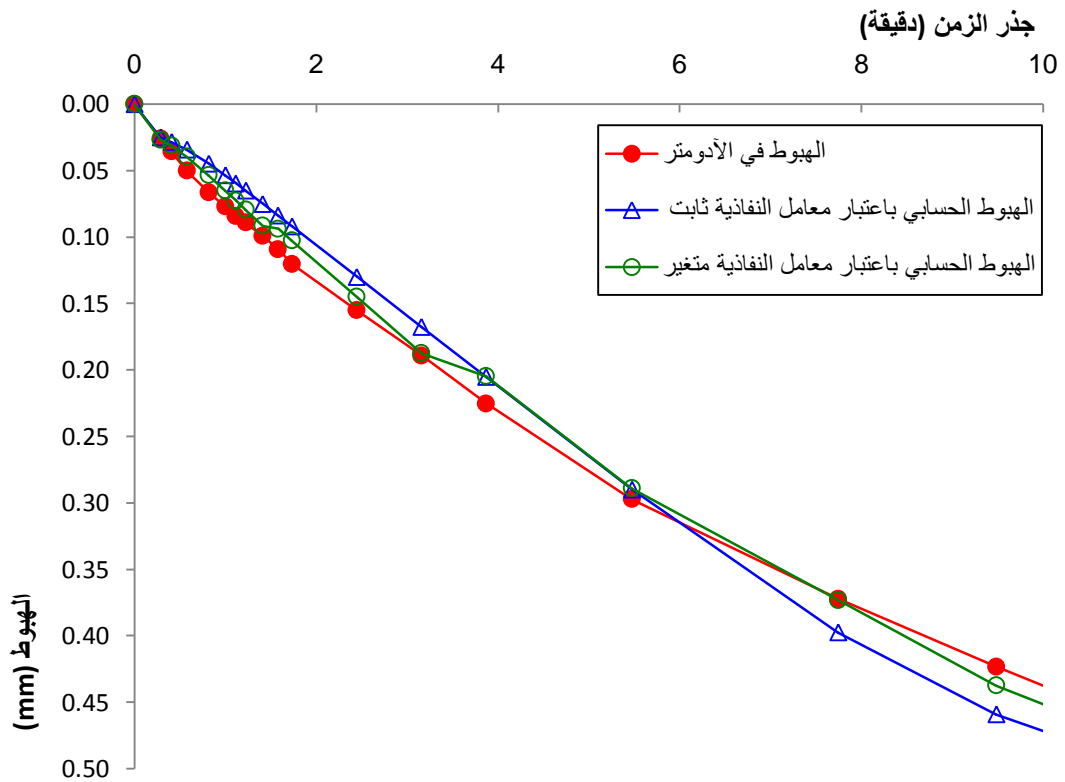
الجدول (3-9) المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جامعة البعث

الزمن (دقيقة)	الهبوط الناتج في الأدومتر (mm)	الهبوط الحسابي (اعتبار معامل النفاذية ثابت) (mm)	الهبوط الحسابي (اعتبار معامل النفاذية متغير) (mm)
0.00	0.000	0.000	0.000
0.08	0.026	0.025	0.027
0.17	0.036	0.028	0.031
0.33	0.050	0.034	0.040
0.67	0.066	0.045	0.053
1.00	0.077	0.054	0.065
1.25	0.084	0.060	0.073
1.50	0.089	0.065	0.079
2.00	0.099	0.075	0.092
2.50	0.109	0.084	0.094
3.00	0.120	0.092	0.103
6.00	0.155	0.130	0.145
10.00	0.189	0.168	0.187
15.00	0.225	0.205	0.205
30.00	0.297	0.290	0.289
60.00	0.372	0.398	0.373
90.00	0.423	0.459	0.438
120.00	0.464	0.495	0.477
150.00	0.488	0.515	0.502
180.00	0.505	0.527	0.517
240.00	0.522	0.537	0.533
360.00	0.530	0.542	0.541
1440.00	0.542	0.542	0.542



الشكل (3-11) المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جامعة البعث

وتوضيح بداية المخطط السابق كما في الشكل (3-12) :



الشكل (3-12) توضيح بداية المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جامعة البعث

# الفصل الرابع

## تحليل النتائج

- ١ - المقارنة بين النتائج التجريبية والحسابية للهبوط في الترب المدروسة .
- ٢ - حساب معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي للترب المدروسة .

#### 4- تحليل النتائج :

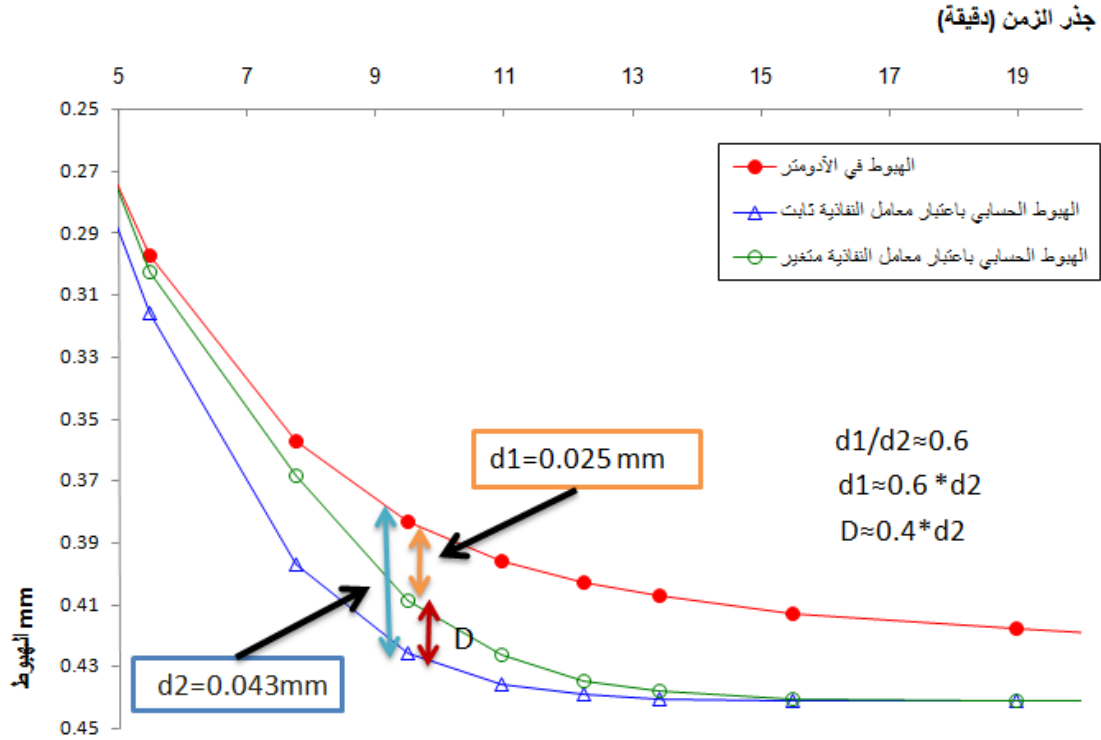
##### 4-1- المقارنة بين النتائج التجريبية والحسابية للهبوط في الترب المدروسة :

تمت معالجة النتائج وتحليلها لكل نوع من الترب المدروسة ، من خلال المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في الحالتين اعتبار معامل النفاذية ثابت ومتغير ، وحساب الجدوى من اعتبار معامل النفاذية متغير أثناء الإنضغاط الرشحي ، وذلك وفق الخطوات التالية :

1- نحسب الفروقات بين القيم التجريبية للهبوط في الأدومتر وبين قيم الهبوط الحسابية الناتجة من تطبيق المعادلة التفاضلية ضمن المجالات الجزئية (اعتبار معامل النفاذية متغير) وهي  $d1$ .

2- نحسب الفروقات بين القيم التجريبية للهبوط في الأدومتر وبين قيم الهبوط الحسابية الناتجة من تطبيق المعادلة التفاضلية العامة ضمن المجال الكلي (اعتبار معامل النفاذية ثابت) وهي  $d2$ .

3- نحسب متوسط النسبة  $(d1/d2)$  ثم نحسب  $D$  بدلالة  $d2$  ، حيث  $D$  هي الفرق بين القيم الحسابية للهبوط في حالتين اعتبار معامل النفاذية ثابت ومتغير وتمثل التوفير أو الجدوى من اعتبار معامل النفاذية متغير أثناء الإنضغاط الرشحي ، وتوضح الرموز السابقة في الرسم التوضيحي المبين بالشكل (4-1) :



الشكل (4-1) رسم توضيحي من أجل تحليل النتائج

4-1-1- من أجل تربة جرمانا نتبع الخطوات السابقة ونرتب النتائج في الجدول (4-1) :

الجدول (4-1) معالجة نتائج المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جرمانا

الزمن (دقيقة)	d1 الفرق بين الهبوط في الآدومتر والهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية متغير	d2 الفرق بين الهبوط في الآدومتر والهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية ثابت	d1/d2
0.08	0.002	0.003	0.53
0.17	0.006	0.008	0.69
0.33	0.010	0.015	0.71
0.67	0.011	0.018	0.62
1.00	0.010	0.018	0.54
1.25	0.009	0.018	0.48
1.50	0.006	0.017	0.38
2.00	0.004	0.015	0.23
2.50	0.012	0.016	0.76
3.00	0.013	0.018	0.76
6.00	0.004	0.010	0.42
10.00	0.006	0.002	3.02
15.00	0.007	0.004	1.83
30.00	0.005	0.019	0.29
60.00	0.012	0.040	0.29
90.00	0.025	0.043	0.60
120.00	0.030	0.040	0.77
150.00	0.031	0.038	0.87
180.00	0.031	0.033	0.93
240.00	0.027	0.028	0.98
360.00	0.023	0.023	1.00
المتوسط			
-	-	-	0.80



2-1-4- من أجل تربة سهل الغاب نتبع الخطوات السابقة ونرتب النتائج في الجدول (2-4)

الجدول (2-4) معالجة نتائج المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة سهل الغاب

الزمن (دقيقة)	d1 الفرق بين الهبوط في الآدومتر والهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية متغير	d2 الفرق بين الهبوط في الآدومتر والهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية ثابت	d1/d2
0.08	0.006	0.032	0.189
0.17	0.005	0.036	0.149
0.33	0.008	0.043	0.189
0.67	0.006	0.056	0.106
1.00	0.009	0.067	0.128
1.25	0.005	0.074	0.069
1.50	0.001	0.081	0.018
2.00	0.018	0.093	0.196
2.50	0.024	0.104	0.231
3.00	0.023	0.114	0.201
6.00	0.007	0.161	0.045
10.00	0.011	0.208	0.054
15.00	0.008	0.255	0.032
30.00	0.018	0.360	0.049
60.00	0.001	0.497	0.003
90.00	0.028	0.577	0.048
120.00	0.035	0.625	0.056
150.00	0.047	0.654	0.071
180.00	0.040	0.670	0.059
240.00	0.035	0.686	0.052
360.00	0.022	0.694	0.032
المتوسط			
-	-	-	0.1

3-1-4- نتبع الخطوات السابقة من أجل تربة جامعة البعث ونرتب النتائج في الجدول (3-4)

الجدول (3-4) معالجة نتائج المقارنة بين القيم التجريبية والحسابية للهبوط في تربة جامعة البعث

الزمن (دقيقة)	d1 الفرق بين الهبوط في الأدومتر والهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية متغير	d2 الفرق بين الهبوط في الأدومتر والهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية ثابت	d1/d2
0.08	0.004	0.007	0.59
0.17	0.011	0.016	0.67
0.33	0.013	0.022	0.59
0.67	0.012	0.024	0.52
1.00	0.012	0.025	0.47
1.25	0.010	0.024	0.41
1.50	0.008	0.024	0.31
2.00	0.016	0.025	0.61
2.50	0.018	0.028	0.62
3.00	0.010	0.025	0.40
6.00	0.002	0.022	0.09
10.00	0.020	0.019	1.02
15.00	0.008	0.007	1.08
30.00	0.001	0.025	0.04
60.00	0.014	0.036	0.39
90.00	0.013	0.030	0.43
120.00	0.014	0.027	0.51
150.00	0.012	0.021	0.56
180.00	0.010	0.015	0.70
240.00	0.011	0.011	0.92
المتوسط			
	-	-	0.55

1- من خلال الجدول ( 4-1 ) تبين أن متوسط النسبة (  $d1/d2 \approx 0.8$  ) أي (  $d1=0.8d2$  ) وبالتالي (  $D=0.2*d2$  ) فمن أجل تربة جرمانا ممكن استنتاج مايلي :  
 إن حساب الهبوط مع الزمن بلعتبر معامل النفاذية متغير أعطى قيم أقرب للأدومتر بنسبة 20% بالمقارنة مع حساب الهبوط مع الزمن بلعتبر معامل النفاذية ثابت.

2- ومن خلال الجدول ( 4-2 ) تبين أن متوسط النسبة (  $d1/d2 \approx 0.1$  ) أي (  $d1=0.1*d2$  ) وبالتالي (  $D=0.9*d2$  ) فمن أجل من أجل تربة سهل الغاب ممكن استنتاج مايلي :  
 إن حساب الهبوط مع الزمن بلعتبر معامل النفاذية متغير أعطى قيم أقرب للأدومتر بنسبة 90% بالمقارنة مع حساب الهبوط مع الزمن بلعتبر معامل النفاذية ثابت.

3- ومن خلال الجدول ( 4-3 ) متوسط النسبة (  $d1/d2 \approx 0.55$  ) أي (  $d1=0.5*5d2$  ) وبالتالي (  $D=0.45*d2$  ) فمن أجل من أجل تربة جامعة البعث ممكن استنتاج مايلي :  
 إن حساب الهبوط مع الزمن باعتبار معامل النفاذية متغير أعطى قيم أقرب للأدومتر بنسبة 45% بالمقارنة مع حساب الهبوط مع الزمن باعتبار معامل النفاذية ثابت.

## 2-4- حساب معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي للترب المدروسة:

### 1-2-4- اعتبار معامل النفاذية ثابت أثناء الإنضغاط الرشحي :

عند حساب معامل النفاذية من أجل الترب المدروسة باعتباره ثابتاً أثناء الإنضغاط الرشحي كانت النتائج وفق الجدول ( 4-4 ) :

الجدول ( 4-4 ) نتائج حساب معامل النفاذية باعتباره ثابتاً أثناء الإنضغاط الرشحي

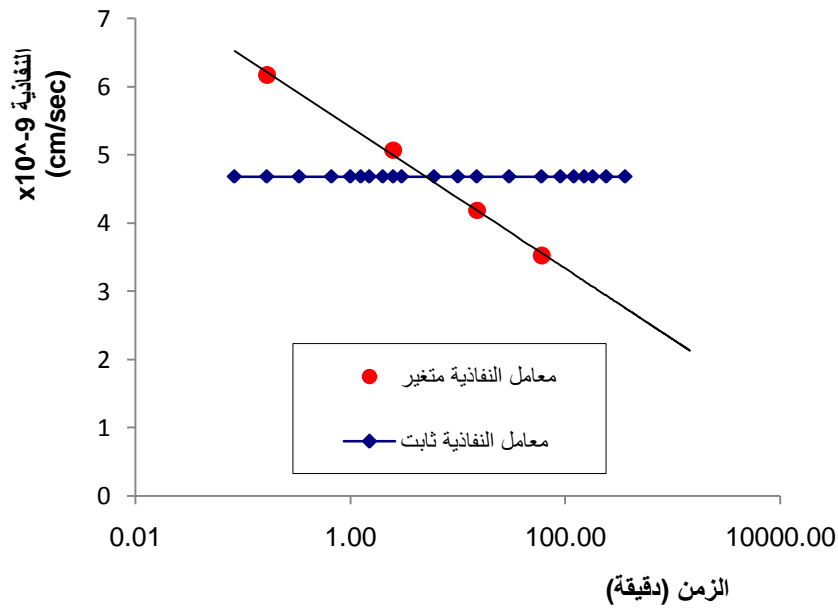
معامل النفاذية cm/sec	الإجهاد المطبق kg/cm <sup>2</sup>	نوع التربة
4.63E-09	2	تربة جرمانا
1.71E-09	4	تربة سهل الغاب
2.75E-09	2	تربة جامعة البعث

### 2-2-4- اعتبار معامل النفاذية متغير أثناء الإنضغاط الرشحي :

يوضح الجدول ( 4-5 ) والشكل ( 4-2 ) نتائج حساب تغير معامل النفاذية مع الزمن أثناء الإنضغاط الرشحي في تربة جرمانا من أجل الإجهاد المطبق ( 2 kg/cm<sup>2</sup> ) :

الجدول (4-5) تغير معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جرمانا

الزمن (دقيقة)	معامل النفاذية ضمن المجالات الجزئية (cm/sec)
2	6.2E-09
10	5.1E-09
60	4.2E-09
1440	3.5E-09



الشكل (4-2) معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جرمانا

من الشكل (4-2) ممكن استنتاج علاقة تغير معامل النفاذية مع الزمن لتربة جرمانا من أجل الإجهاد المطبق  $2\text{kg/cm}^2$  وفق المعادلة التالية ومعامل الارتباط :

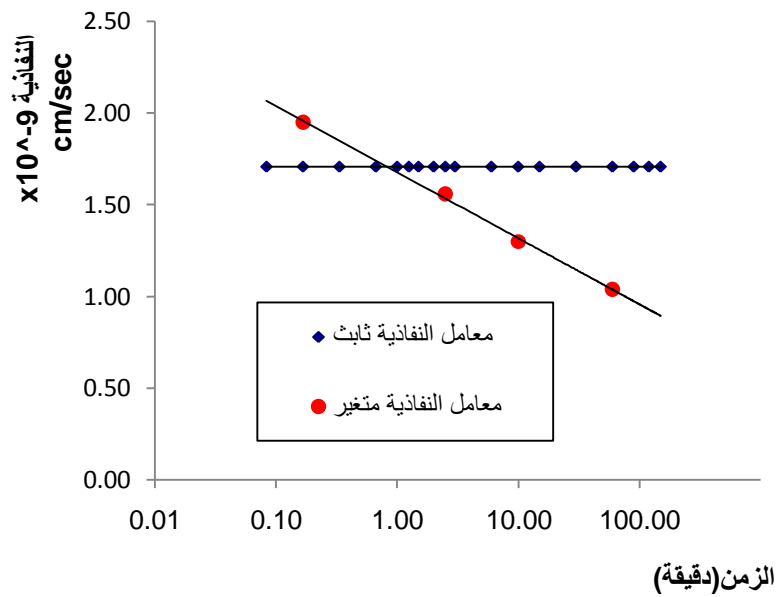
$$K = -0.45 * 10^{-9} \ln(t * 60) + 5.41 * 10^{-9}$$

$$R^2 = 0.998$$

ويوضح الجدول (4-6) والشكل (4-3) نتائج حساب تغير معامل النفاذية مع الزمن أثناء الإنضغاط الرشحي في تربة سهل الغاب من أجل الإجهاد المطبق ( $4\text{ kg/cm}^2$ ) :

الجدول (4-6) تغير معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشيحي لتربة سهل الغاب

الزمن (دقيقة)	معامل النفاذية ضمن المجالات الجزئية (cm/sec)
2	2.7E-09
10	2.2E-09
60	1.8E-09
1440	1.4E-09



الشكل (4-3) معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشيحي لتربة سهل الغاب

من الشكل (4-3) يمكن استنتاج علاقة تغير معامل النفاذية مع الزمن لتربة سهل الغاب من أجل الإجهاد المطبق  $4\text{kg/cm}^2$  وفق المعادلة التالية ومعامل الارتباط :

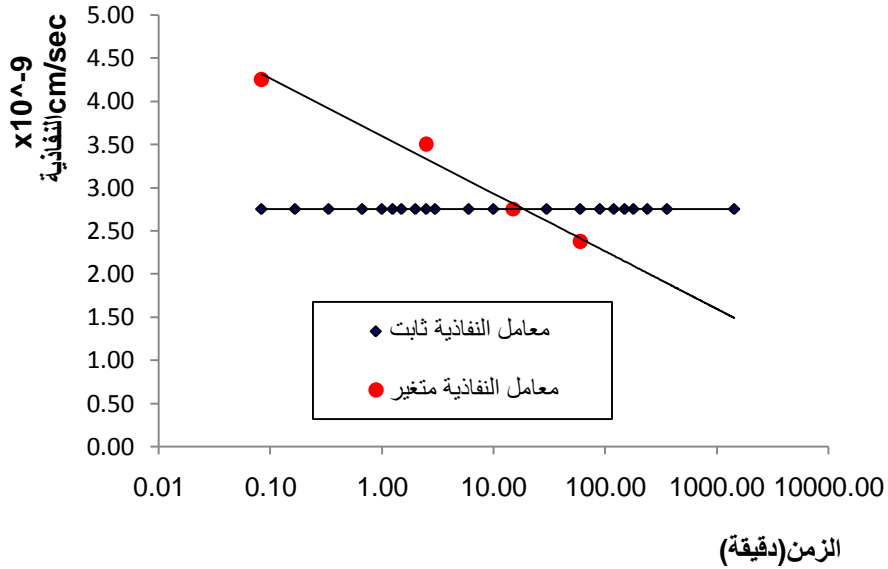
$$K = -0.15 * 10^{-9} \ln(t * 60) + 1.68 * 10^{-9}$$

$$R^2 = 0.997$$

ويوضح الجدول (4-7) والشكل (4-3) نتائج حساب تغير معامل النفاذية مع الزمن أثناء الإنضغاط الرشيحي في تربة جامعة البعث من أجل الإجهاد المطبق ( $2\text{ kg/cm}^2$ ) :

الجدول (4-7) تغير معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جامعة البعث

الزمن (دقيقة)	معامل النفاذية ضمن المجالات الجزئية (cm/sec)
2	4.3E-09
10	3.5E-09
60	2.8E-09
1440	2.4E-09



الشكل (4-4) معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي لتربة جامعة البعث

ومن الشكل (4-4) ممكن استنتاج علاقة تغير معامل النفاذية مع الزمن لتربة جامعة البعث من أجل الإجهاد المطبق  $2\text{kg/cm}^2$  وفق المعادلة التالية ومعامل الارتباط :

$$K = -0.29 * 10^{-9} \ln(t * 60) + 3.6 * 10^{-9}$$

$$R^2 = 0.981$$

# الفصل الخامس

## النمذجة العددية

- ١ - مقدمة نظرية .
- ٢ - برنامج plaxis .
- ٣ - نمذجة سلوك التربة وفق برنامج plaxis .
- ٤ - استخدام برنامج plaxis في النمذجة العددية  
للإنضغاط الرشحي .
- ٥ - المراحل المتبعة في النمذجة العددية للإنضغاط  
الرشحي.
- ٦ - معايرة النموذج الهندسي .
- ٧ - النتائج النهائية للنمذجة العددية للإنضغاط  
الرشحي للترب المدروسة .
- ٨ - المقارنة بين نتائج النمذجة العددية ونتائج  
تجارب التشديد للترب المدروسة .

## ٥ - النمذجة العددية :

### 1-5- مقدمة نظرية :

النمذجة العددية تعتمد على فكرة العناصر المنتهية (المحدودة) ، بتقسيم الوسط المدروس إلى أجزاء منتهية الأبعاد بحيث يمكن وصف سلوك هذه العناصر الصغيرة كل على حده ، ومن ثم استنتاج سلوك الوسط المستمر عن طريق التجميع المباشر لأجزائه بالحل العددي لجملة المعادلات التفاضلية الخاضعة للشروط الحدية والإبتدائية المناسبة ، والتي تتحكم أو تصف سلوك العناصر الناتجة من التقسيم ، أي تعتمد النمذجة العددية على فكرة التحليل بالتجزئة ثم التركيب . [19]

وتم استخدام برنامج plaxis في النمذجة العددية حيث يستخدم هذا البرنامج لتحليل ودراسة تشوهات التربة والصخور تحت تأثير الحمولات الخارجية المختلفة ويعتمد على طريقة العناصر المنتهية (المحدودة).

### ٢ • برنامج plaxis : يتألف برنامج plaxis من أربع برامج فرعية : [17]

- 1- برنامج إدخال المعطيات: يستخدم لتوصيف المسألة المدروسة وتشمل تحديد أبعاد وشكل النموذج الهندسي خصائص المواد المؤلفة للنموذج الحمولات الشروط الحدودية والإبتدائية .
- 2- برنامج الحساب : لحساب الإجهادات والتشوهات في كل مرحلة من مراحل إنشاء المشروع .
- 3- برنامج إخراج النتائج : تعرض نتائج الحسابات وتشوهات نموذج شبكة العناصر المحدودة والإجهادات المؤثرة ويمكن من عرض النتائج على شكل جداول .
- 4- برنامج رسم المنحنيات : يستخدم لعرض منحنيات العلاقة بين الحمولات والتشوهات وكذلك يوفر البرنامج إمكانية اختيار مقاطع عرضية لعرض توزيع الإجهادات والتشوهات .

### ٣ • نمذجة سلوك التربة وفق برنامج plaxis : [13]

إن العلاقة بين الإجهاد المطبق والتشوه في التربة تحت تأثير الحمولات الخارجية ليست علاقة خطية إلا في مجال ضيق جداً ويوفر برنامج plaxis عدة نماذج رياضية لتمثيل سلوك التربة تحت تأثير الحمولات الخارجية منها :

- 1- النموذج الخطي المرن ( Linear-Elastic model ) : ويمثل هذا النموذج قانون هوك وهو بحاجة لمعاملين هما معامل يونغ ومعامل بواسون .
- 2- نموذج مور كولومب ( Mor-Colomb model ) : يعتبر مرن - كامل اللدونة ويعتمد على على خمسة بارامترات هي معامل يونغ E ، معامل بواسون  $\nu$  ، التماسك C ، زاوية الإحتكاك  $\Phi$  زاوية التوسع الجانبي  $\Psi$  .



3- نموذج الترب القاسية ( Hardening soil model ) : يدرس هذا النموذج السلوك المرن - اللدن ويأخذ شكل القطع الزائد ويستخدم لدراسة سلوكية الترب الرملية ، الحصوية ، الترب الغضارية مسبقة الإنضغاط .

4- نموذج الترب الطرية ( Soft soil model ) : وهو النموذج ( Cam-Clay model ) ويستخدم لدراسة الترب الضعيفة مثل تربة الخث والترب الغضارية المنضغة طبيعياً ويعمل بشكل جيد من أجل دراسة الإنضغاط الأولي للتربة .

5- نموذج زحف الترب الطرية ( Soft soil creep model ) : يستخدم هذا النموذج لدراسة سلوك الترب الغضارية الرطبة مع الزمن .

-ويمكن اختيار نوع سلوك التربة وفق إحدى الحالتين : [17]

1- سلوك مصرف ( Drained behavior ) : لا يتولد أي ضغط مسامي في التربة ويستخدم في الترب الجافة أو في الترب التي يتم فيها تصريف كامل لماء المسامات كما في الترب الرملية .

2- سلوك غير مصرف ( Undrained behavior ) : يستخدم من أجل التطور الكامل للضغط المسامي الزائد في التربة حيث يهمل جريان الماء في التربة ذات النفاذية المنخفضة كما في التربة الغضارية .

#### 4-5- استخدام برنامج plaxis في النمذجة العددية للإنضغاط الرشيحي .

تمت النمذجة العددية لتجربة الإنضغاط الرشيحي باستخدام برنامج plaxis ضمن الشروط التالية:

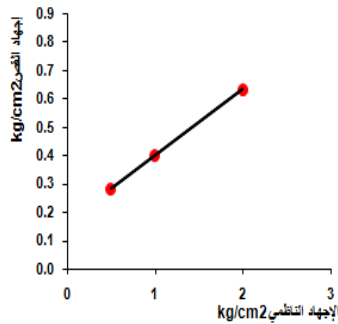
- 1- الإجهادات والتشوهات متناظرة حول المحور المار من مركز العينة Axiymmetric .
- 2- الضغط المسامي يساوي الصفر عند السطح العلوي والسفلي للعينة (حدود تصريف) .
- 3- تم الحصول على زاوية الاحتكاك والتماسك للتربة المدروسة من إجراء تجارب القص المباشر بحالة أقرب لتجارب التشديد ، وهي الحالة المغمورة والمصرفة وبنفس الوزن الحجمي والرطوبة الطبيعية لتجارب التشديد وفق الخواص في الجدول (1-5):

الجدول (1-5) خواص تجارب القص المباشر للتربة المدروسة

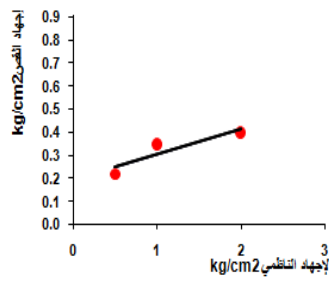
الخواص لتجربة القص	تربة جرمانا	تربة سهل الغاب	تربة جامعة البعث
الرطوبة %	28.5	39	31.5
ارتفاع العينة mm	20	20	20
مساحة العينة cm <sup>2</sup>	36	36	36
الوزن الحجمي gr/cm <sup>3</sup>	1.95	1.98	1.92
سرعة القص mm/min	0.5	0.5	0.5

وكانت نتائج تجارب القص المباشر للتربة المدروسة كما في الشكل (1-5) :

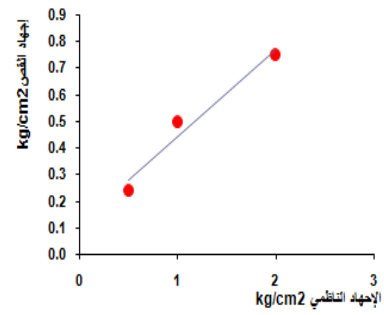
- نتائج تجربة القص المباشر لتربة جرمانا - نتائج تجربة القص المباشر لتربة سهل الغاب - نتائج تجربة القص المباشر لتربة جامعة البعث



خواص التربة	تربة جامعة البعث
التماسك kg/cm <sup>2</sup>	0.17
زاوية الاحتكاك	13



خواص التربة	تربة سهل الغاب
التماسك kg/cm <sup>2</sup>	0.2
زاوية الاحتكاك	6



خواص التربة	تربة جرمانا
التماسك kg/cm <sup>2</sup>	0.12
زاوية الاحتكاك	18

الشكل (1-5) نتائج تجارب القص المباشر للتربة المدروسة

4- الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب المدروسة موضحة بالجدول (5-2) :

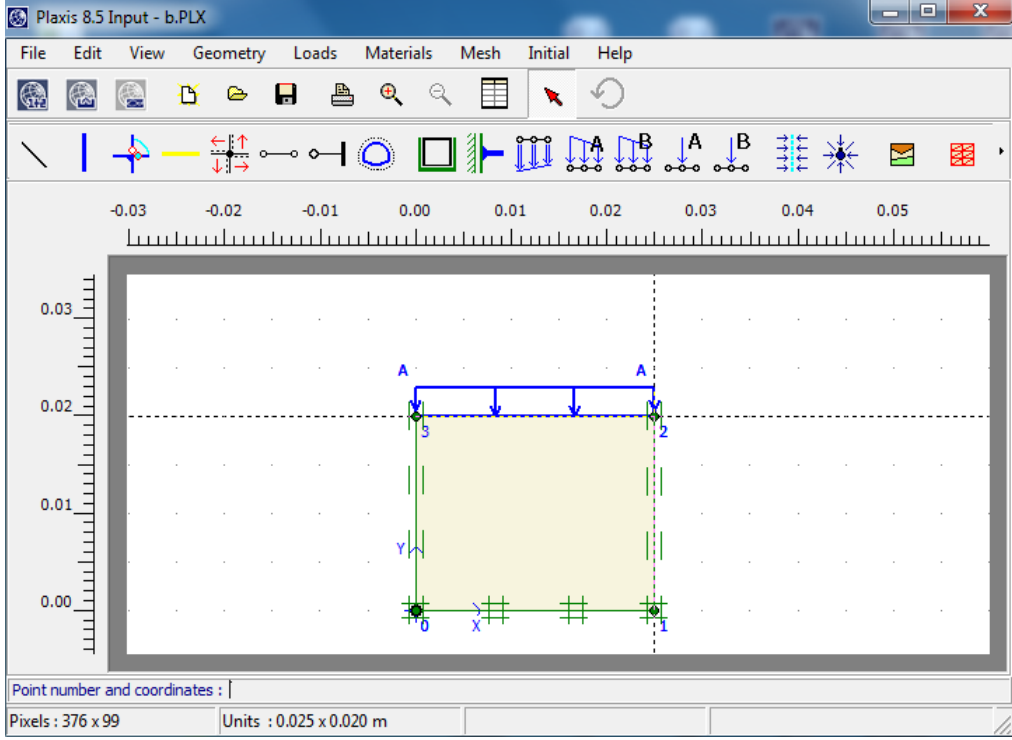
الجدول (5-2) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب المدروسة

خواص التربة	تربة جرمانا	تربة سهل الغاب	تربة جامعة البعث
الوزن الحجمي الطبيعي ( $\text{KN/m}^3$ )	19.5	19.9	19.2
معامل النفاذية (m/min)	1.1E-06	5.1E-07	6.0E-07
معامل المرونة ( $\text{KN/m}^2$ )	3381	2897	3123
التماسك ( $\text{KN/m}^2$ )	12	20	17
زاوية الإحتكاك	18	6	13
معامل المسامية البدائي	0.7595	0.7580	0.8540

## 5-5- المراحل المتبعة في النمذجة العددية للإنبساط الرشيحي :

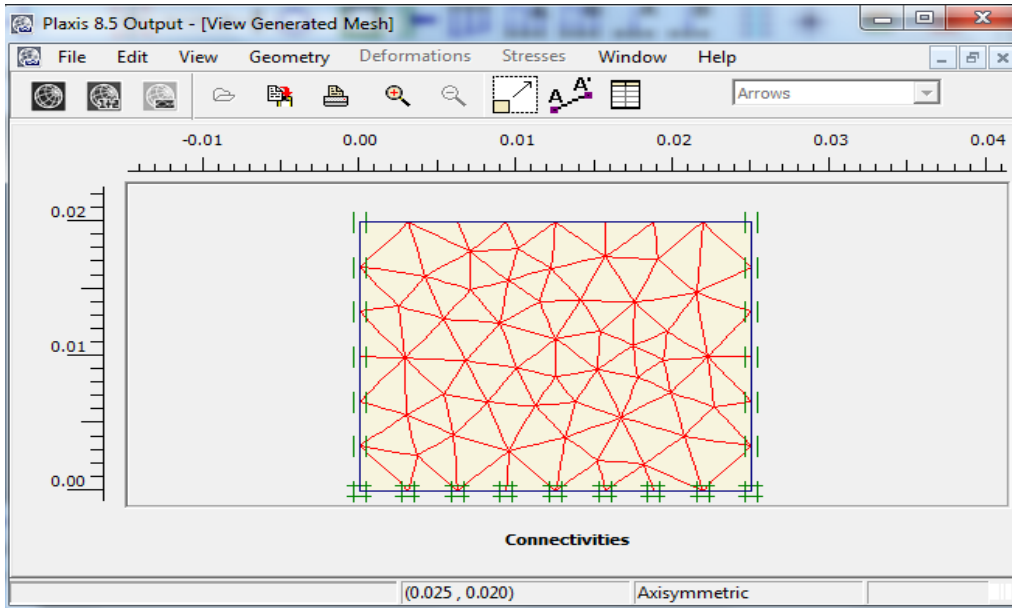
تم اتباع المراحل التالية في النمذجة العددية للإنبساط الرشيحي :

- 1- رسم النموذج الهندسي المطابق لنصف العينة المدروسة ضمن حلقة التشديد ذات الأبعاد (القطر 5سم ، الإرتفاع 2سم ) ووضع الشروط الحدية المناسبة ونوع الحمولة ومواصفات التربة كما في الشكل (5-2) :



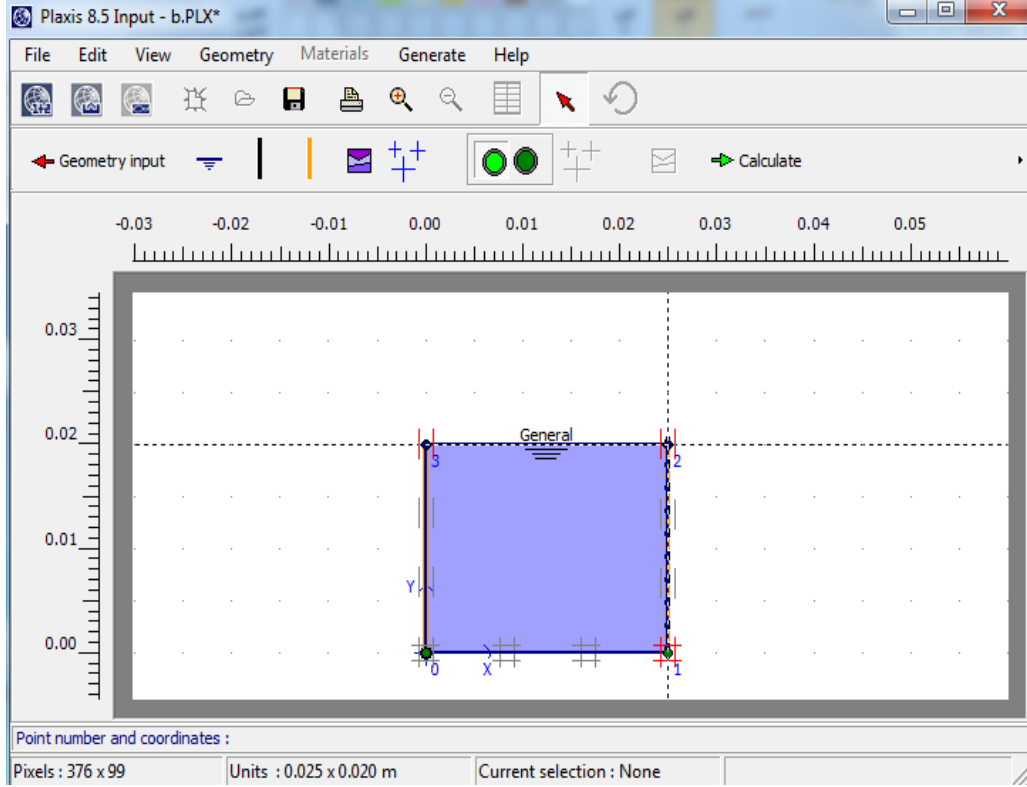
الشكل (5-2) للنموذج الهندسي للعينة المدروسة ضمن حلقة التشديد

- 2- توليد شبكة العناصر المحدودة كما في الشكل (5-3) :



الشكل (5-3) شبكة العناصر المحدودة

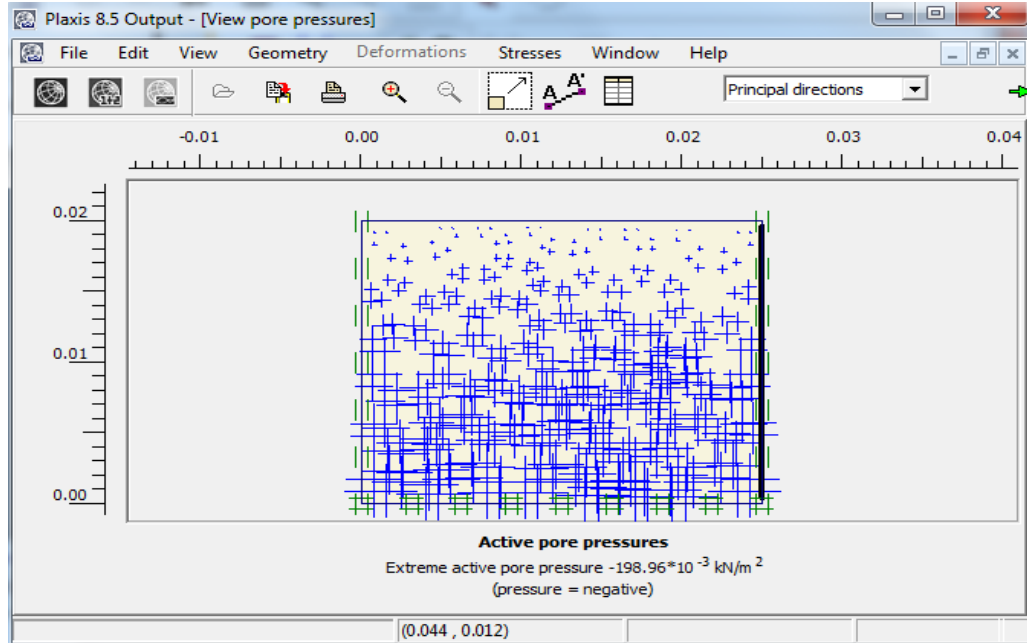
3- وضع الشروط الحدية الهيدروليكية : بوضع منسوب الماء ومنع الجريان والتشديد خلال جدران الحلقة كما في الشكل (5-4) :



الشكل (5-4) الشروط الهيدروليكية

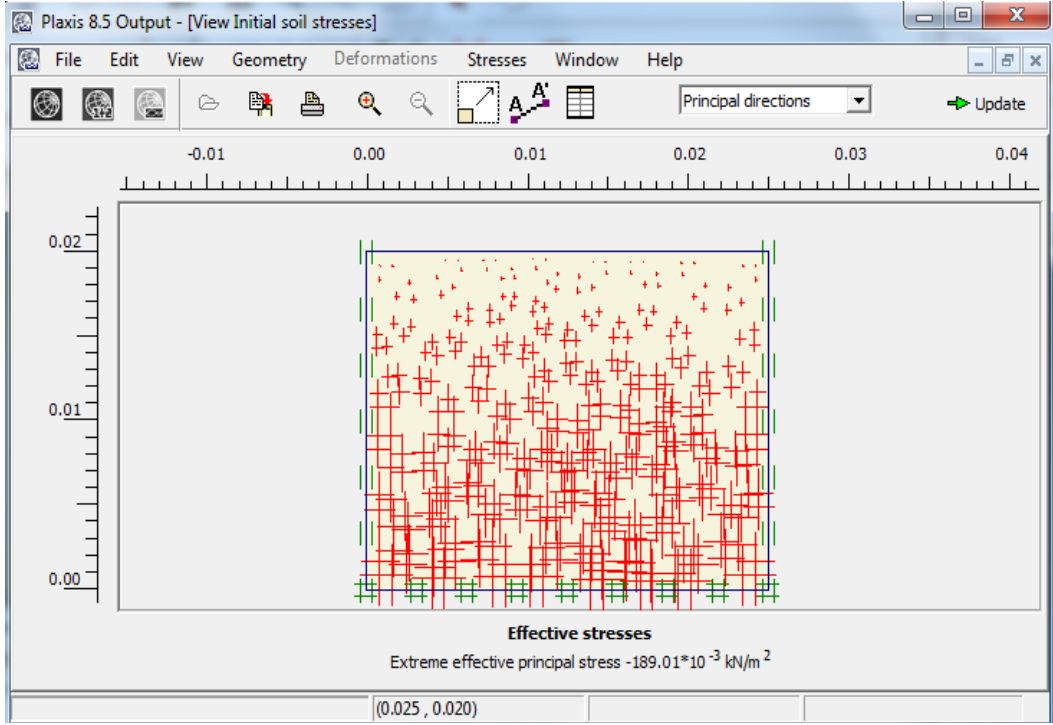
٣ توليد الشروط الابتدائية :

- توليد ضغط ماء المسام الابتدائي كما في الشكل (5-5):



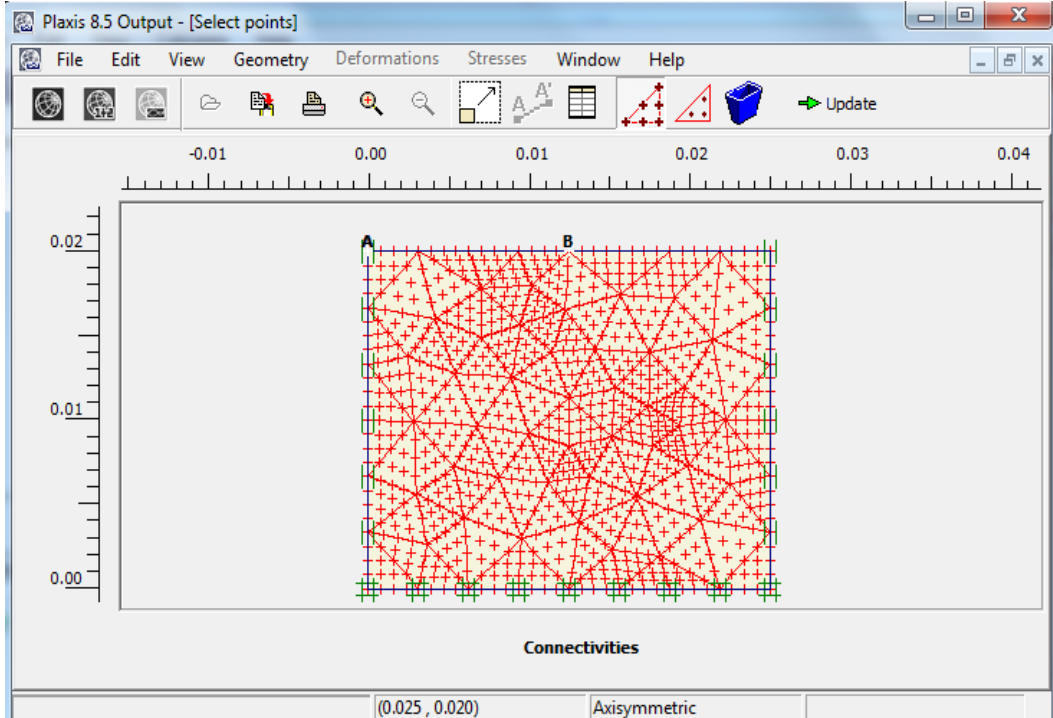
الشكل (5-5) توليد ضغط ماء المسام الابتدائي

-توليد الإجهادات الابتدائية الناتجة عن الوزن الذاتي الوزن كما في الشكل (5-6) :



الشكل (5-6) توليد الإجهادات الأولية الناتجة من الوزن الذاتي للتربة

٤ اختيار نقط للدراسة ضمن النموذج الهندسي كما في الشكل (5-7) :

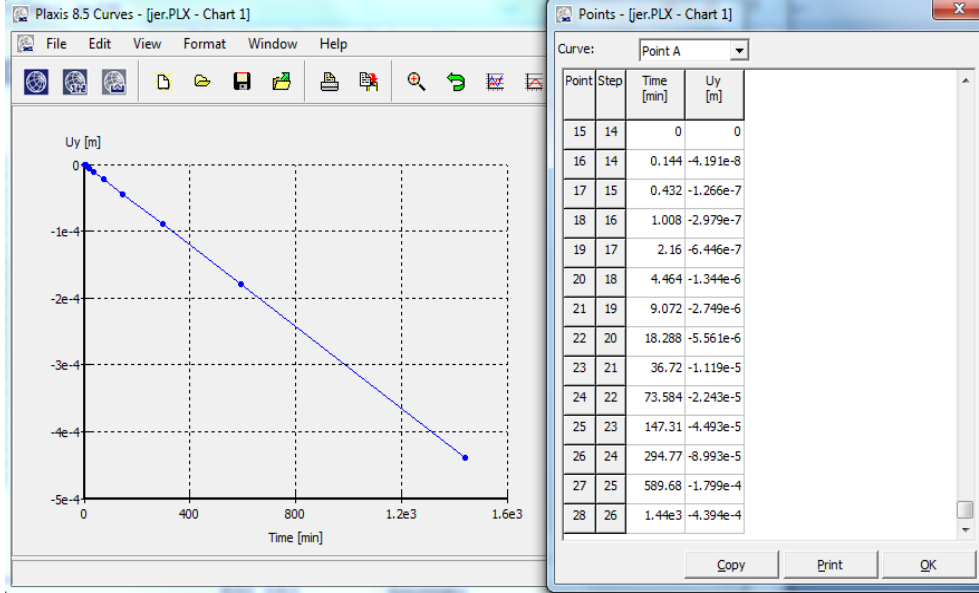


الشكل (5-7) اختيار نقاط للدراسة ضمن النموذج الهندسي

## 5-6 - معايرة النموذج الهندسي:

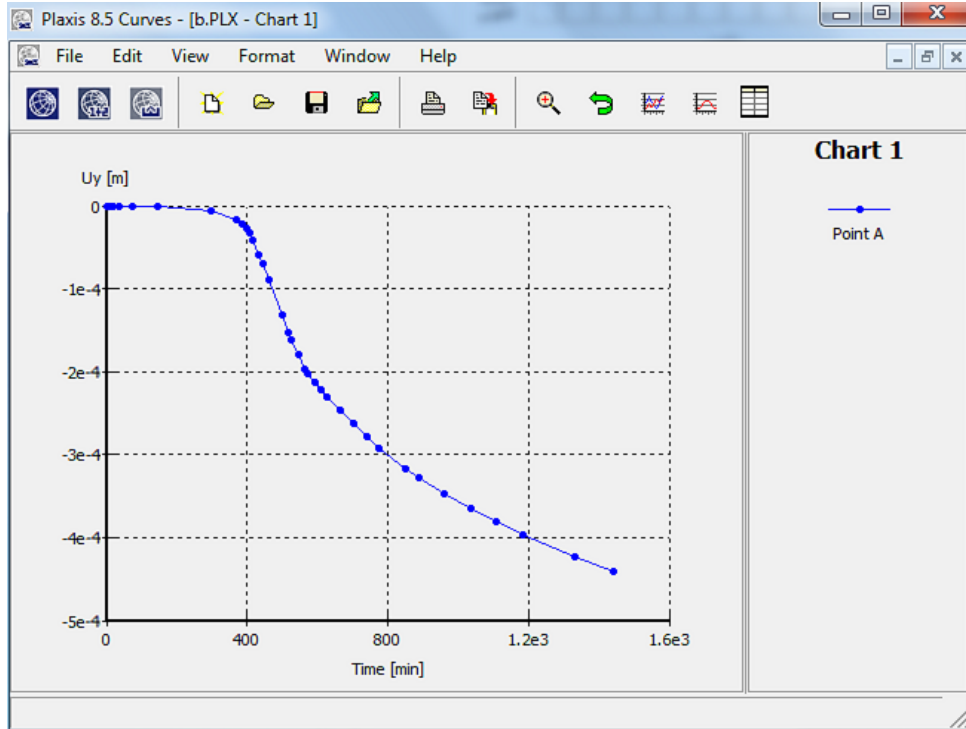
تمت معايرة النموذج الهندسي عن طريق المقارنة بين نتائج النمذجة العددية والنتائج التجريبية للتشديد في الأدومتر من أجل تربة جرمانا حيث الإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$ .

1- باستخدام قانون السلوك مور - كولومب نتج مخطط الهبوط مع الزمن بالشكل (5-8) :



الشكل (5-8) مخطط الهبوط مع الزمن باستخدام قانون السلوك مور - كولومب

2- باستخدام قانون سلوك الترب الطرية نتج مخطط الهبوط مع الزمن بالشكل (5-9) :



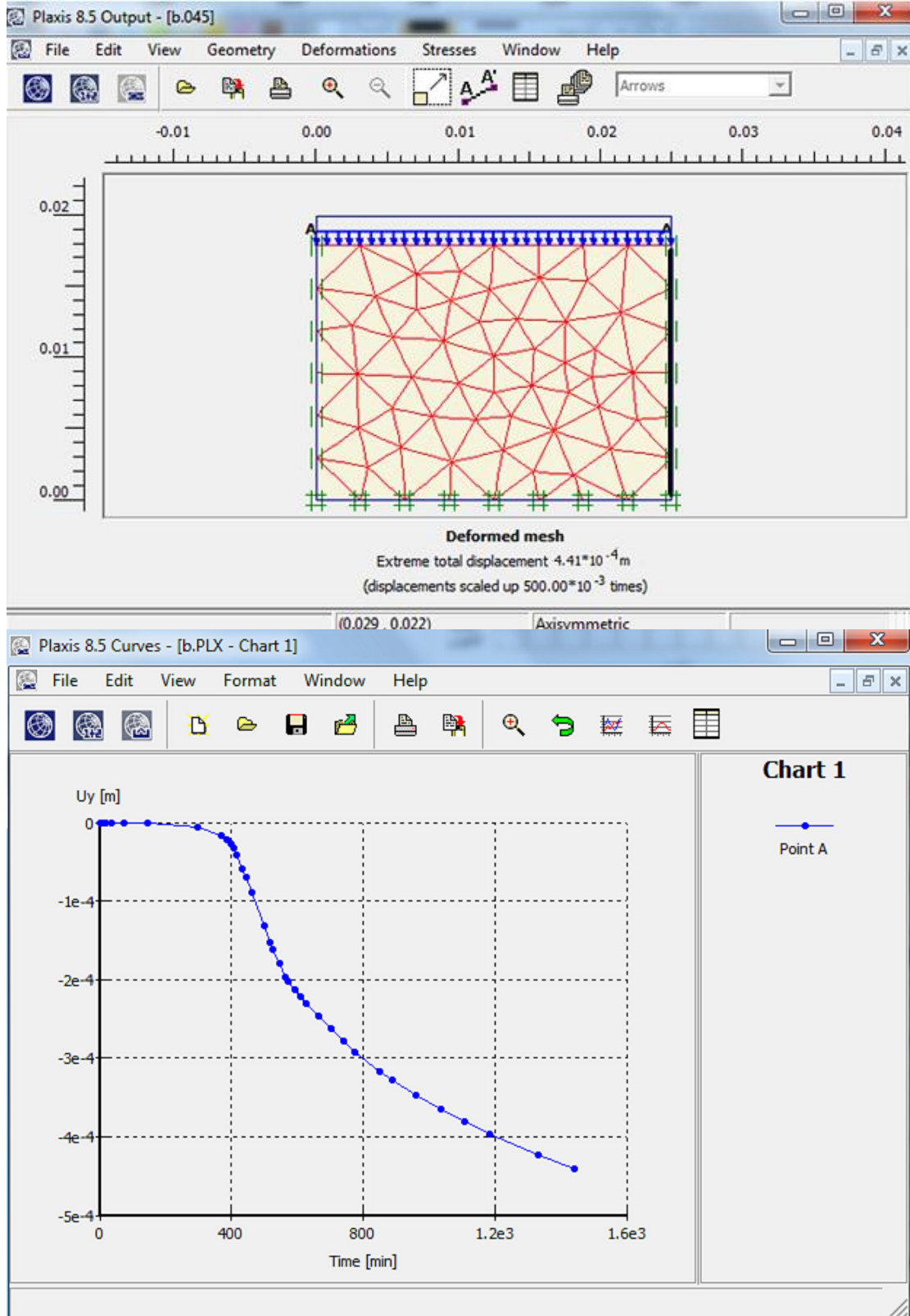
الشكل (5-9) مخطط الهبوط مع الزمن باستخدام قانون السلوك للترب الطرية Soft soil

7-5- النتائج النهائية للنمذجة العددية للإنضغاط الرشي للترب المدروسة :

من الشكل ( 8-5) نلاحظ أن قانون السلوك مور- كولومب أعطى علاقة خطية للهبوط مع الزمن وهو بعيد عن الشكل العام لمنحي التشديد ، وبالتالي نجد أنه لا يمكن استخدام قانون مور كولومب من أجل الإنضغاط الرشي في الترب المدروسة ، أما من الشكل ( 9-5) نلاحظ أنه باستخدام قانون السلوك للترب الطرية ( Soft soil model) نتج الشكل العام لمنحي الهبوط مع الزمن قريب من الشكل العام الناتج من تجربة التشديد في الآدومتر وبالتالي تم استخدام قانون سلوك الترب الطرية من أجل الإنضغاط الرشي للترب المدروسة .



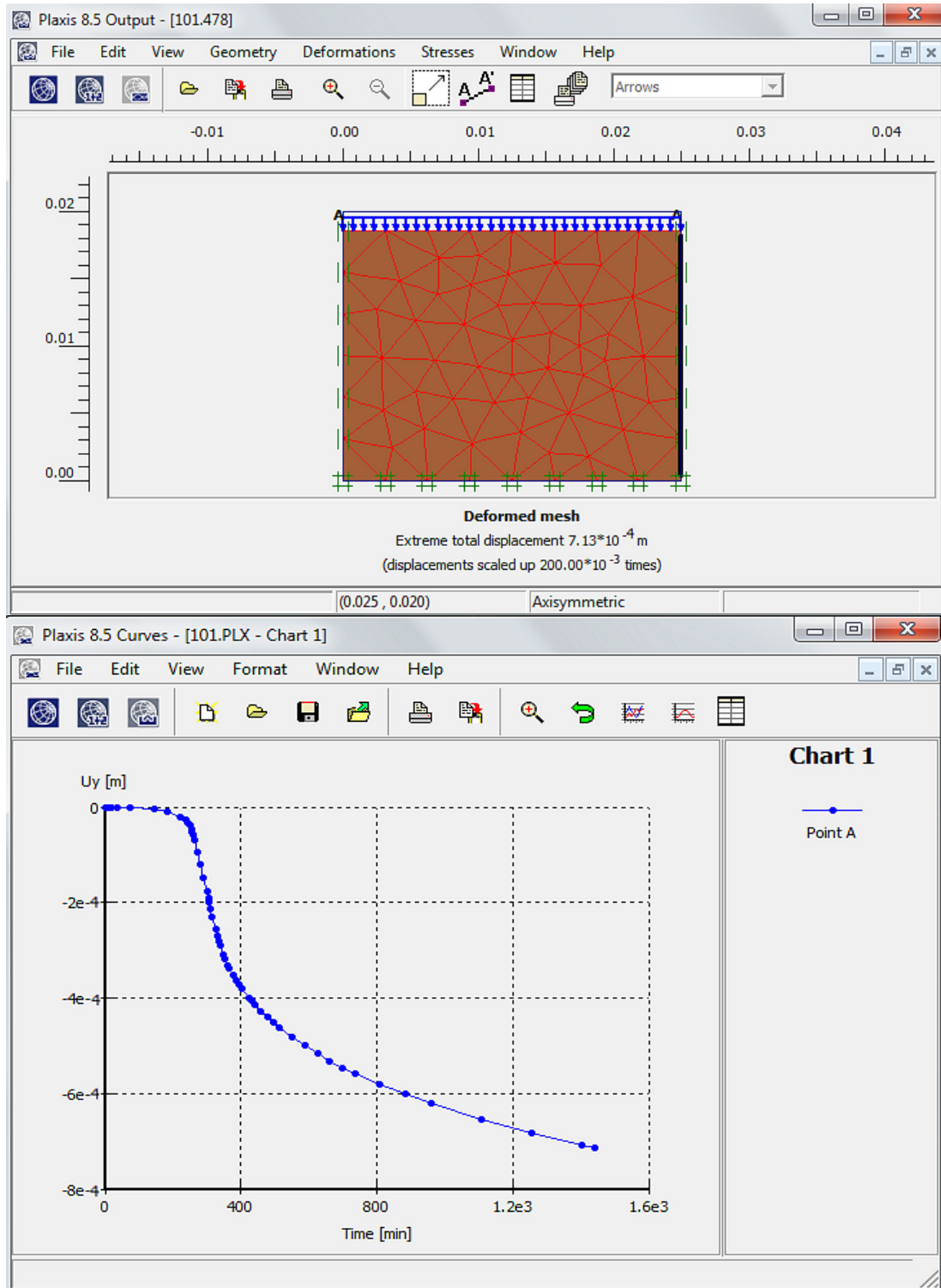
5-7-1 - نتائج النمذجة العددية للإنضغاط الرشحي في تربة جرمانا بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  :  
 - نتج الهبوط الكلي مع شبكة العناصر المحدودة بعد التشوه و منحني الهبوط مع الزمن كما في الشكل (5-10) :



الشكل (5-10) الهبوط الكلي مع منحني الهبوط مع الزمن لتربة جرمانا

## 2-7-5- نتائج النمذجة العددية للانضغاط الرشيحي في تربة سهل الغاب بالإجهاد $4\text{kg/cm}^2$

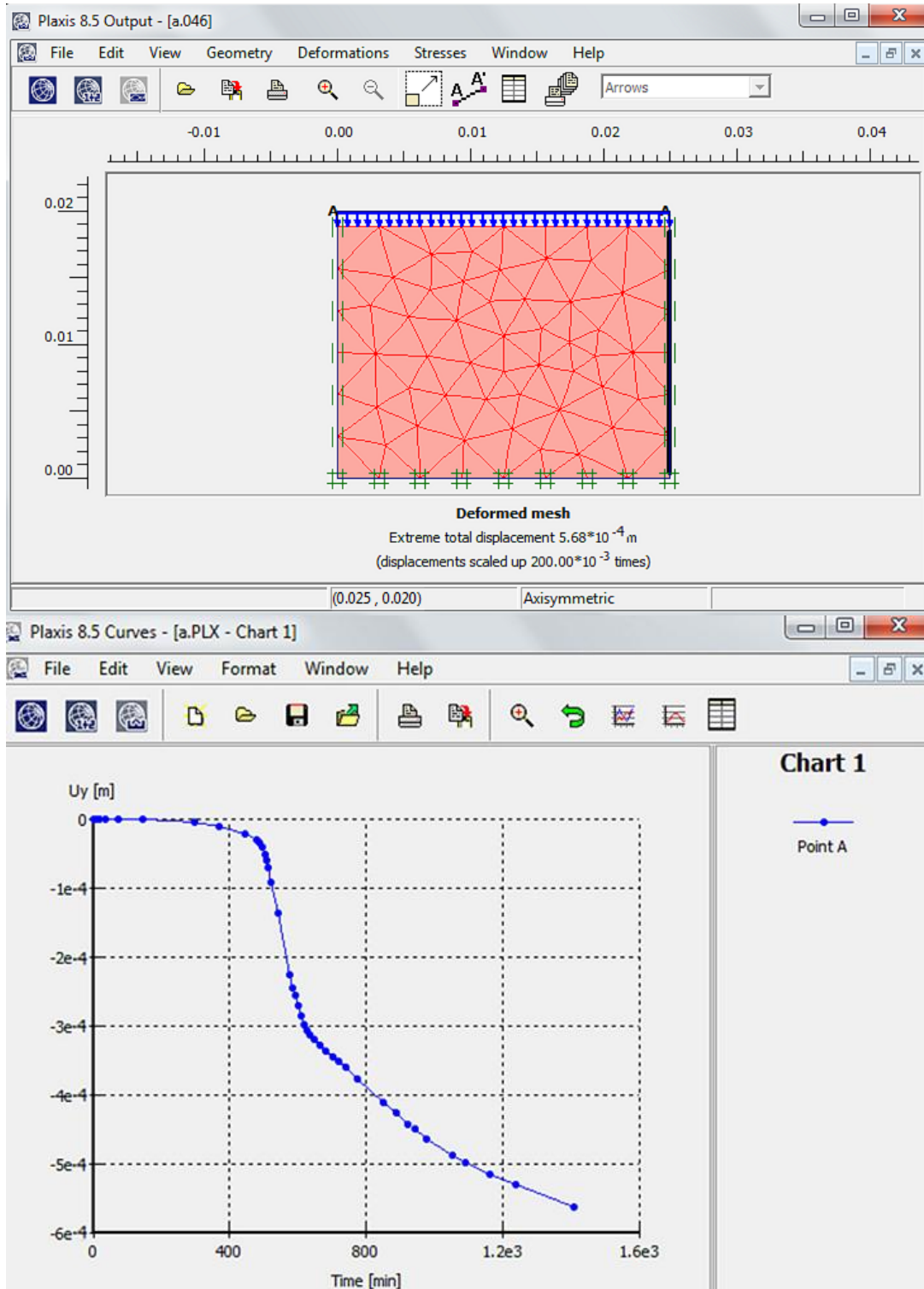
نتج الهبوط الكلي مع شبكة العناصر المحدودة بعد التشوه و منحنى الهبوط مع الزمن كما في الشكل (5-11):



الشكل (5-11) الهبوط الكلي مع منحنى الهبوط مع الزمن لتربة سهل الغاب

### 3-7-5- نتائج النمذجة العددية للانضغاط الرشحي في تربة جامعة البعث الإجهاد $2\text{kg/cm}^2$

نتج الهبوط الكلي مع شبكة العناصر المحدودة بعد التشوه و منحنى الهبوط مع الزمن كما في الشكل (5-12) :



الشكل (5-12) الهبوط الكلي مع منحنى الهبوط مع الزمن لتربة جامعة البعث

-من الشكل (10-5) نجد أن قيمة الهبوط الكلي لتربة جرمانا بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  الناتجة من النمذجة العددية مساوية لـ  $0.44\text{mm}$  ، ومن الشكل (11-5) نجد أن قيمة الهبوط الكلي لتربة سهل الغاب بالإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$  الناتجة من النمذجة العددية مساوية لـ  $0.71\text{mm}$  ، ومن الشكل (12-5) نجد أن قيمة الهبوط الكلي لتربة جامعة البعث بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  الناتجة من النمذجة العددية مساوية لـ  $0.57\text{mm}$  .

#### 8-5- المقارنة بين نتائج النمذجة العددية ونتائج تجارب التشديد للترب المدروسة :

- يمكن تلخيص المقارنة بين قيم الهبوط النهائية للترب المدروسة الناتجة من النمذجة العددية وبين قيم الهبوط النهائية الناتجة من تجربة التشديد في الآدومتر بالجدول (4-5) :

الجدول (4-5) المقارنة بين نتائج النمذجة العددية ونتائج تجارب التشديد

قيمة الهبوط الكلي في النمذجة (mm)	قيمة الهبوط الكلي في الآدومتر ( mm )	نوع التربة
0.44	0.44	تربة جرمانا
0.71	0.69	تربة سهل الغاب
0.57	0.54	تربة جامعة البعث

- نلاحظ من الجدول ( 4-5) وجود توافق كبير بين نتائج النمذجة العددية والنتائج التجريبية لتجارب التشديد في الآدومتر من حيث قيم الهبوط النهائية .

# الفصل السادس

## الإستنتاجات والتوصيات

## ٦ - الإستنتاجات والتوصيات :

1- يتناقص معامل النفاذية مع الزمن أثناء الإنضغاط الرشحي من أجل نفس الإجهاد المطبق لكل نوع من الترب المدروسة وفق العلاقات الرياضية التالية :

- تناقص معامل النفاذية ل تربة جرمانا بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  أثناء الإنضغاط الرشحي يكون وفق المعادلة التالية :

$$K = -0.45 * 10^{-9} \ln(t * 60) + 5.41 * 10^{-9}$$

- تناقص معامل النفاذية ل تربة سهل الغاب بالإجهاد  $4\text{kg/cm}^2$  أثناء الإنضغاط الرشحي يكون وفق المعادلة التالية :

$$K = -0.15 * 10^{-9} \ln(t * 60) + 1.68 * 10^{-9}$$

- تناقص معامل النفاذية ل تربة جامعة البعث بالإجهاد  $2\text{kg/cm}^2$  أثناء الإنضغاط الرشحي يكون وفق المعادلة التالية :

$$K = -0.29 * 10^{-9} \ln(t * 60) + 3.6 * 10^{-9}$$

2- يرتبط تناقص معامل النفاذية مع الزمن أثناء الإنضغاط الرشحي بمحتوى التربة من الغضار وقرينة اللدونة للتربة ، فكلما زاد محتوى التربة من الغضار وزادت قرينة اللدونة للتربة يتناقص معامل النفاذية أثناء الإنضغاط الرشحي بشكل أقل كما في تربة سهل الغاب ، بينما يكون التناقص في معامل النفاذية كبير من أجل تربة جرمانا ذات المحتوى الأقل من الغضار وقرينة لدونة أقل .

3- يتناقص معامل النفاذية كلما ازداد الإجهاد المطبق من أجل كل نوع من الترب المدروسة ويأخذ هذا التناقص شكل منحنى بميل شديد في بداية المنحنى وميل منخفض في نهاية المنحنى .

4- يرتبط تناقص معامل النفاذية مع الإجهاد المطبق بمحتوى التربة من الغضار وقرينة اللدونة للتربة ، فكلما زاد محتوى التربة من الغضار وكانت قرينة اللدونة للتربة أعلى يتناقص معامل النفاذية مع الإجهاد المطبق بشكل أقل .

٥ -قيمة معامل النفاذية الحسائية أصغر من القيم التجريبية لمعامل النفاذية من أجل كل نوع من الترب المدروسة .

٦ -إن حساب الهبوط مع الزمن ب تقسيم منحنى الإنضغاط لمجالات جزئية وتطبيق المعادلة التفاضلية ضمن المجالات الجزئية ( أي بـاعتبار معامل النفاذية متغير) يعطي نتائج أقرب لنتائج الهبوط التجريبية في الآدومتر من تطبيق المعادلة التفاضلية العامة في المجال الكلي للإنضغاط (اعتبار معامل النفاذية ثابت) .

٧ - إن حساب الهبوط مع الزمن بلعتبر معامل النفاذية متغير خلال الإنضغاط

الرشحي يعطي نتائج أكثر دقة من حالة اعتبار معامل النفاذية ثابت وذلك :

- نسبة 20% من أجل تربة جرمانا.

- بنسبة 90% من أجل تربة سهل الغاب .

- بنسبة 45% من أجل تربة جامعة البعث .

٨ - إن حساب الهبوط مع الزمن بلعتبر معامل النفاذية متغير خلال الإنضغاط

الرشحي يكون أكثر جدوى كلما زاد محتوى التربة من الغضار وزادت قرينة اللدونة

للتربة كما في تربة سهل الغاب .

11- من أجل بداية منحنى التشديد يكون الهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية

متغير أكبر من الهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية ثابت ، وذلك بسبب أن

حساب الهبوط باعتبار معامل النفاذية متغير يأخذ بعين الإعتبار أن معامل النفاذية

تكون قيمته أكبر في بداية الإنضغاط ثم تتناقص مع مرور الزمن ، أما حساب الهبوط

باعتبار معامل النفاذية ثابت ف يعتمد على قيمة و سطية لمعامل النفاذية وهي أصغر

من القيم الفعلية في بداية الإنضغاط ، وأما في الجزء الثاني لمنحنى التشديد يكون

الهبوط الحسابي باعتبار معامل النفاذية متغير أصغر من الهبوط الحسابي باعتبار

معامل النفاذية ثابت ، حيث أنه بعد حصول تشديد موافق للنسبة 50% تكون قيمة

معامل النفاذية في حالة المجالات الجزئية للإنضغاط أقل من القيمة الوسطية لمعامل

النفاذية المعتمدة في المجال الكلي للإنضغاط .

١٢ - إن حساب الهبوط مع الزمن باعتبار معامل النفاذية متغير يؤثر على قيم

تطور الهبوط مع الزمن في مراحل جزئية من الهبوط ولا يؤثر على القيمة النهائية

للهبوط ، حيث يتلاقى منحنى التشديد التجريبي مع منحنى التشديد الحسابي (باعتبار

معامل النفاذية ثابت ومتغير) عند القيمة النهائية للهبوط وذلك يتفق مع المعادلة

الرياضية التي تم حساب الهبوط وفقها .

13- في النمذجة العددية يجب معايرة النموذج الهندسي باختيار قانون السلوك

المناسب .

14- لا يمكن استخدام قانون مور كولومب في دراسة الإنضغاط الرشحي من أجل الترب

المدرسة حيث أعطى علاقة خطية للهبوط مع الزمن.

15- قانون السلوك المناسب في النمذجة العددية لدراسة الإنضغاط الرشحي من أجل

الترب المدرسة هو قانون سلوك الترب الطرية (Soft soil model).

- 16- يوجد تقارب بين نتائج الهبوط مع الزمن في النمذجة العددية مع نتائج الهبوط مع الزمن التجريبية الناتجة من تجربة التشديد وذلك من حيث القيمة النهائية للهبوط والشكل العام لمنحني التشديد .
- 17- نوصي بحساب الهبوط وفق النمذجة العددية مع الأخذ بعين الإعتبار تغير معامل النفاذية ومقارنة النتائج مع النتائج التجريبية والحسابية للهبوط .
- 18 - ممكن الإستفادة من النمذجة في دراسة تأثير الاحتكاك الجانبي على الإنضغاط الرشحي عن طريق إدخال عوامل القص للتربة مع معدن حلقة التشديد في النمذجة .
- 19- نوصي بدراسة الإنضغاط الرشحي مع الأخذ بعين الإعتبار تغير معامل النفاذية من أجل عينات سليمة من التربة .



## المراجع :

- [1] – Chih , Ping.Lin . (2010). Soil Mechanics Compressibility of soil.
- [2] - Chenglium, Jack B.Evet .(2008). Soil and foundation.
- [3] - Dr. S, V. Dinesh .(2006). Consolidation of soils . Siddaganga Institute of Technology Tumkur.
- [4] - Das,B.M .(2008). Advanced Soil Mechanics – third edition.
- [5] - ASTM,D4546-96 .(1996).Standard test methods for one dimensional consolidation.
- [6] – Attasit, Korchai. yapruk . (2009). Experimental and numerical study of primary consolidation of soft clay.
- [7] – Lenk , P.(2009).Modelling of primary consolidation
- [8] – Sam , H .W.(2007). Applied Soil Mechanics
- [9] – Munibudhu .(2011) .Soil Mechanics and foundations-third edition.
- [10] – Hsin ,yu. Shan .(2010) . Consolidation Tests of Soils, National Chiao Tung University.
- [11] - Zayed , M .(2001). Consolidation of Soils,Siva-New York.
- [12] - Lan ,Smith .(2009).Smiths elements of soil Mechanics.
- [13] – Dennis , Waterman .(2006) . Introduction to plaxis.
- [14] – Plaxis , 2D-Version 8,Material models manual ,Validation manual.
- [15] - D. A, Cameron .(2001).Terzaghi - one dimensional consolidation.
- [16] - Seah. Et, Al . (2004).Consolidation Settlement- one dimensional Theory consolidation.
- [17] - شيبب ، د. رندا (2004) الدليل المرجعي لبرنامج بلاكسيز لتحليل التربة الجيوتكنيكية . والمنشآت
- [18] - يني ، د. حنا ( 1977 ) . ميكانيك التربة - جامعة دمشق .
- [19] - سليم ، د.باسل (2010) . استخدام طريقة العناصر المنتهية في دراسة إنضغاطية التربة ، جامعة دمشق .
- [20] - عمارين ، م.أيمن (2006) . دراسة نفاذية التربة الغضارية في المنطقة الجنوبية من سروريا ، رسالة ماجستير في الهندسة الجيوتكنيكية - جامعة دمشق . (د.حناني، د.محمد نصار).

## Abstract

The theory of Terzaghi of primary consolidation depend on a constant coefficient of permeability , and we suppose in this research that the coefficient of permeability decrease with time during primary Consolidation , we study the change of permeability during primary Consolidation and the influence of that on the calculated settlement with time using Differential equation of primary consolidation , and this research include the next steps:

- Experimental study for three types of clay soils (Jermana soil, Sahel Alaab soil, Baath university soil) making of physical properties and classiflicated parameters, and consolidation tests , the permeability was studied by attaching a bezomter to consolidation cell, and recording the change of head during consolidation tests.
- Calculate development settlement with time for studied soils with application Differential equation of primary consolidation in the total range of primary Consolidation (the coefficient of permeability is constant) , then we divide primary Consolidation to equal partial ranges and applied the Differential equation of primary consolidation to the partial ranges (the coefficient of permeability is variable) .
- Compare between the experimental results of settlement from consolidation test in oedometer and the mathematical results of settlement from application Differential equation of primary consolidation in tow cases (coefficient of permeability is constant, and variable) .
- Numerical modeling of primary consolidation to the studied soils and we compared the results with the experimental results .

Damascus University  
Faculty Of Civil Engineering  
Department Of Geotechnical Engineering



# **Experimental Study and Numerical Modeling of One Dimensional Primary Consolidation For Clay Soils Taking Account of Changing The Coefficient Of Permeability**

This Thesis was Prepared  
For Master Degree in Geotechnical Engineering

Prepared BY  
**Eng.Rajaa Abbass Abbass**

Supervision BY

Associated Supervisor

**Dr.Eng.MahenHelal**

Supervisor

**Dr.Eng.AbedAlRahman  
AlMansouri**

2014-2015