

## دراسة تحليلية لتأثير وجود المصارف الشاقولية

### في التربة الغضارية

الباحثة الدكتورة لينا ابراهيم كراييت : دكتوراه في قسم الهندسة الجيوتكنيكية

كلية الهندسة المدنية / جامعة البعث اختصاص - قواعد وأساسات

#### ملخص البحث

تناول هذا البحث :

- دراسة تأثير التباعد بين المصارف الشاقولية  $d_e$  على درجة التشديد الأفقية  $U_H$  .
- تأثر درجة التشديد الأفقية  $U_H$  بسماكة المنطقة المخربة حول المصرف  $d_s$  و بتغير عامل نفاذيتها  $k_s$  و ذلك تبعاً لطريقة تنفيذ المصرف في التربة الغضارية .
- رصد تغير هبوط الترب الغضارية و تغير ضغط ماء المسام الناتج بتغير التباعد بين المصارف الشاقولية  $d_e$  و ذلك باستخدام برنامج العناصر المحدودة GEO-SLOPE .
- بينت النتائج أن وجود المصارف الشاقولية في التربة الغضارية يسرع من عملية التشديد و هذا يتبع للتباعد فيما بينها و لدرجة التخريب حول المصرف الذي يسببه تنفيذ المصرف من جهة أخرى , و لسماكة المنطقة المخربة حول المصرف .
- تم التوصل إلى منحنيات تصميمية نحدد من خلالها التباعد بين المصارف الشاقولية لتحقيق درجة تشديد معينة وفق زمن معين .
- تمكنا من خلال برنامج التحليل GEO-SLOPE التنبؤ بهبوط التربة الغضارية الحاوية على مصارف شاقولية مع الزمن .
- تمكنا من خلال برنامج التحليل GEO-SLOPE التنبؤ بضغط ماء المسام المتولدة في التربة الغضارية الحاوية على مصارف شاقولية خلال أزمنة مختلفة.

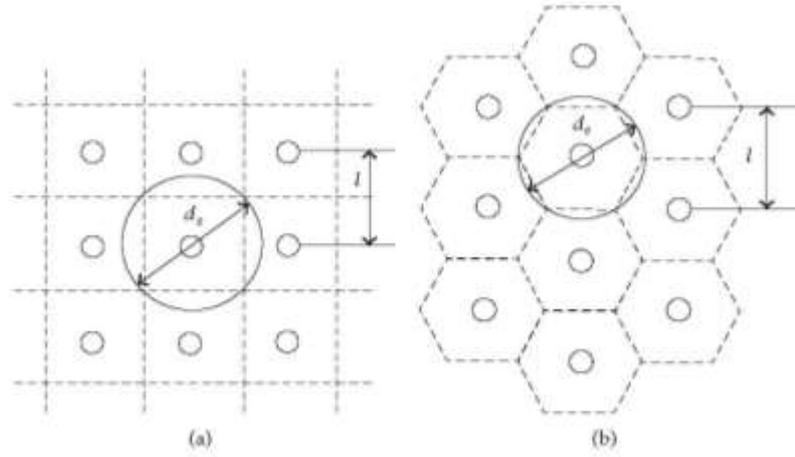


FIGURE 1: Two distribution modes of sand drains: (a) square; (b) triangle.

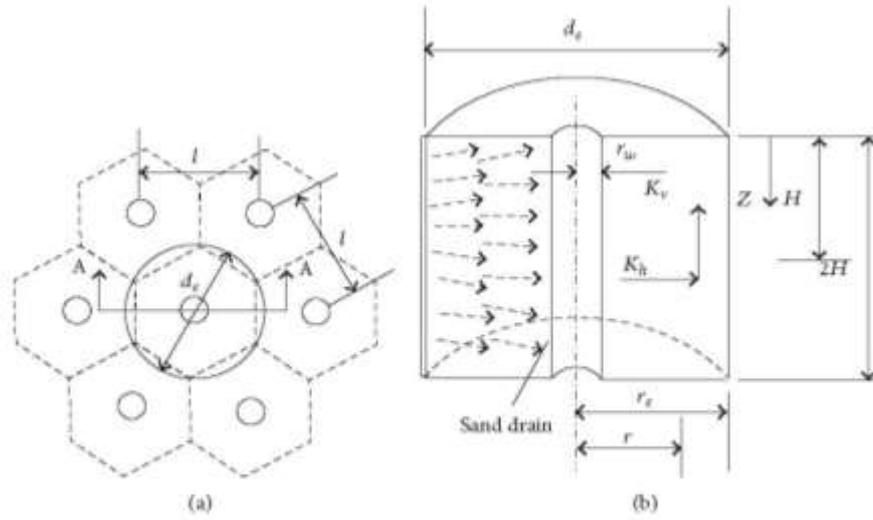


FIGURE 2: The computational model of one sand drain: (a) the floor plan; (b) A-A section plan.

الكلمات المفتاحية : المصارف الشاقولية - درجة التشديد الأفقية - الهبوط- ضغط ماء المسام - جيوسلوب .

## Analytical Study For The Vertical Drains Effect In Clay Soils

### Abstract :

This research discuss :

- The effect of space between vertical drains  $d_e$  on the horizontal consolidation degree  $U_h$  .
- The effect of the thickness of smear zone around the vertical drain  $d_s$  and its permeability on the horizontal consolidation degree  $U_h$  according to the construction method of the vertical drain in clay soil .
- Study the change of clay soils settlement and pore water pressure which caused by the change of space between vertical drains by using finite element program GEO-SLOPE
- Resultes showed that the presence of vertical drains in clay soils accelerate of consolidation process and that follows to the space between the drains and to the disturbance of the soil around the drain which resulting from the way of the drain is build up , and to the thickness of the smear zone around the drain.
- We get design curves that we can determine the distance between the drains to achieve a certain consolidation degree in a certain time .
- We can forecast the settlement and the pore water pressure by time of clay soils which contain vertical drains by using finite element

Key words : vertical drains – horizontal consolidation degree – settlement – pore water pressure – GEO-SLOPE .

مقدمة :

Introduction

للترب الغضارية عامل نفاذية منخفض , انضغاطية عالية و قدرة تحمل منخفضة , الأمر الذي يعرض المنشآت المنفذة على هذه الترب لمشاكل عدة نظراً لتصريفها الضعيف , و من هنا كانت الحاجة لتسريع عملية التشديد في هذه الترب و تلاشي ضغط ماء المسام فيها بأسرع وقت ممكن .

و استخدمت من أجل هذه الغاية عدة تقنيات لعل أهمها و أكثرها فعالية هي تقنية المصارف الشاقولية vertical drains المرافقة لعملية التحميل المسبق للتربة preloading التي تقوم على مبدأ تقصير مسار التصريف حيث يتم تصريف الماء من التربة بالاتجاه الأفقي إضافةً إلى الاتجاه الشاقولي .

تتوضع المصارف الشاقولية على رؤوس مربع أو مثلث متساوي الأضلاع . قد تكون هذه المصارف رملية sand drains و هي عبارة عن أعمدة رملية ضمن حفر اسطوانية تتوضع في الترب الغضارية بأقطار ( 40 - 50 ) cm و بتباعدات ( 1.5 - 3.5 ) m , و استخدمت هذه التقنية حتى 1950 s , و تجدر الإشارة إلى أن تربة المصرف الرملية يجب أن تحقق :

$$D_{15} > 4 \text{ ( التربة الغضارية المحيطة بالمصرف) } / D_{15} \text{ ( تربة المصرف)}$$

$$D_{15} < 4 \text{ ( التربة الغضارية المحيطة بالمصرف) } / D_{85} \text{ ( تربة المصرف)}$$

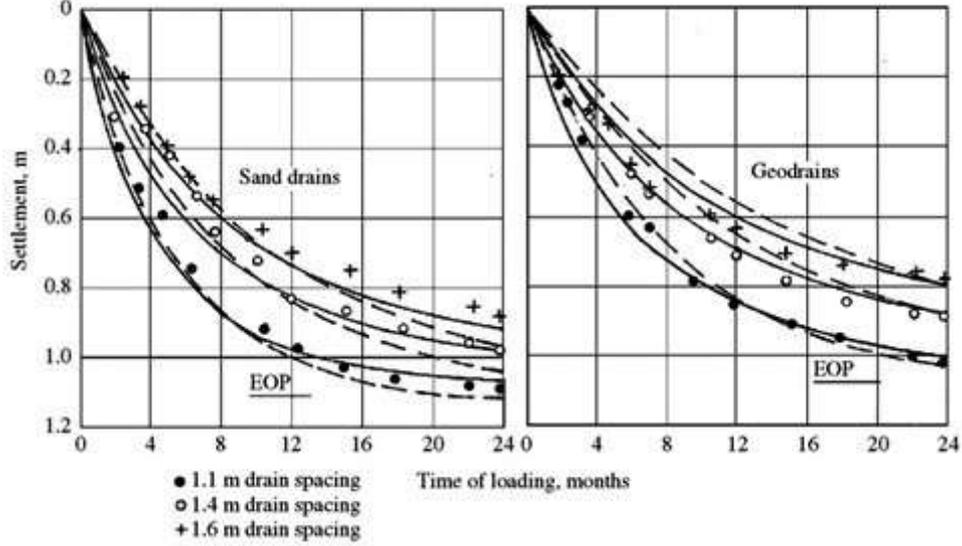
بحيث لا يحدث انسداد للمصرف (3) .

و قد تكون هذه المصارف مسبقة الصنع (PVDs) pre-fabricated drains و هي عبارة عن قنوات منقبة من البوليمرات الاصطناعية مغلقة بنسيج من الجيوتكستيل ( قماش اصطناعي ) يتم اقامها في التربة الغضارية دون حفر مما يوفر وقت تنفيذها في موقع المشروع مقارنةً مع المصارف الرملية , ذلك عدا عن سهولة تنفيذها . (1) .

و قد أصبحت تقنية المصارف الشاقولية مسبقة الصنع شائعة منذ 1980 s في الولايات المتحدة و اليابان و أوروبا و غرب آسيا و ذلك نظراً لسرعة تنفيذها و تكلفتها الأقل , فقد وجد في البلدان المتقدمة تقنياً أن تكلفة التصريف بالمصارف المسبقة الصنع هو ثلث التكلفة المعتمدة بالمصارف الرملية . ( 9 )

يبين الشكل ( 1 ) مقارنة بين المصارف الشاقولية الرملية و المصارف المسبقة الصنع من ال Geodrains حيث يبين أن الهبوط الناتج عن المصرف الشاقولية الرملية أكبر من الهبوط الناتج عن

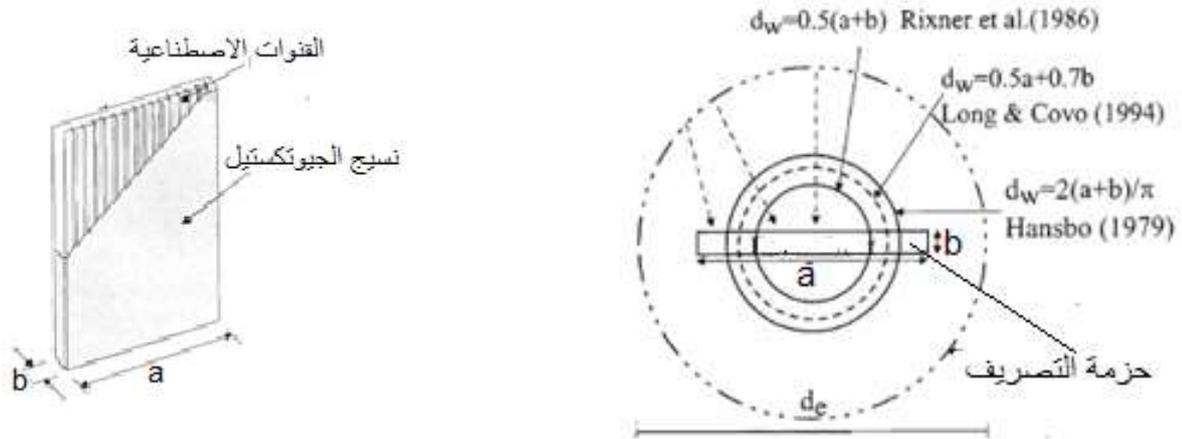
المصارف مسبقة الصنع خلال الزمن نفسه , إلا أن سهولة تنفيذ المصارف المسبقة الصنع و تكلفتها الأقل و عدم تعرضها لظاهرة الانسداد , جعلها أكثر استخداما . ( 8 )



الشكل ( 1 ) : مقارنة بين هبوط المصارف الشاقولية الرملية و المسبقة الصنع .

و يعطى القطر المكافئ  $d_w$  لحزمة التصريف ذات المقطع العرضي  $a \times b$  و فق العديد من الباحثين ( Long and Covo (1994) , Rixner (1986) , Hansbo (1979, 1981, 1987) كما هو

موضح في الشكل ( 2 ) ( 5 ) ( 7 )



الشكل ( 2 ) : القطر المكافئ للمصرف المسبق الصنع  $d_w$  .

العوامل المؤثرة على سلوك المصرف الشاقولي :

### Factors Affecting Vertical Drain Performance

اقترحت الحلول النظرية للتشديد بوجود المصارف الشاقولية باعتماد دراسة خلية اسطوانية واحدة مكونة من التربة الغضارية و في مركزها المصرف الشاقولي (Barron (1948) , Yoshikuni (1979) , Hansbo (1981) , (6) . و أعطى Barron علاقة يبين فيها درجة التشديد الأفقية  $U_h$  الناتجة عن التصريف الأفقي فقط معبراً فيها عن العوامل التي تحقق درجة التشديد الأفقية المطلوبة وفق زمن معين كما مايلي :

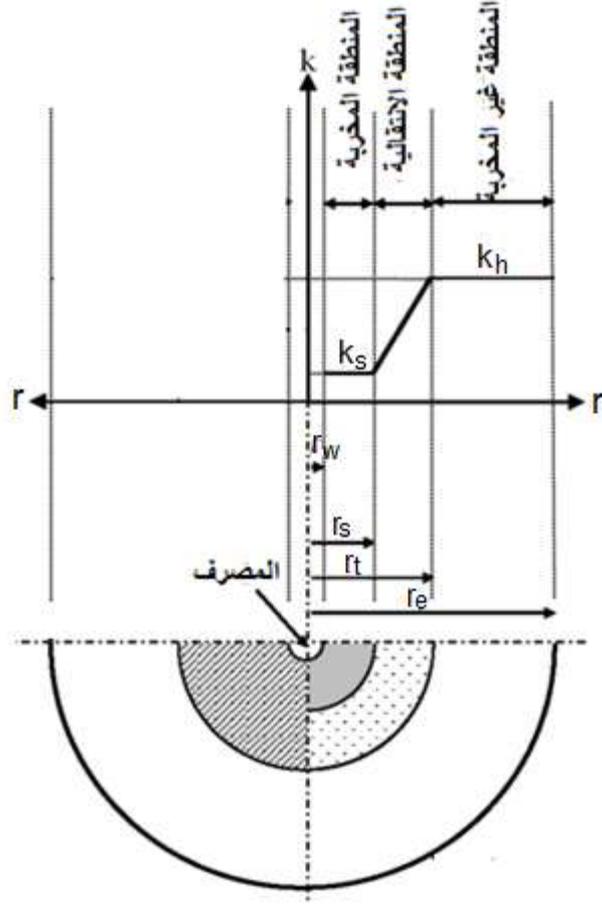
$$U_h = 1 - \exp\left(-\frac{8.T_h}{\alpha}\right) \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{n^2}{n^2 - s^2} \cdot \ln\left(\frac{n}{s}\right) - \frac{3.n^2 - s^2}{4.n^2} + \frac{k_h}{k_s} \cdot \left(\frac{n^2 - s^2}{n^2}\right) \ln(s) \quad (2)$$

حيث  $T_h$  : معامل الزمن بالاتجاه الأفقي .

$$T_h = \frac{c_h \cdot t}{d_e^2} \quad (3)$$

$\alpha$  : عامل يتعلق بهندسة نظام التصريف من حيث الأقطار المكافئة للمصارف  $d_w = 2.r_w$  و التباعدات فيما بينها  $d_e = 2.r_e$  و سماكة المنطقة المخربة smear zone حول المصرف  $d_s = 2.r_s$  التي تختلف تبعاً لطريقة تنفيذ المصرف و لصلابة التربة الغضارية Bergado 1993 (2) , كما يتعلق بمعامل النفاذية الأفقي للتربة الغضارية  $k_h$  و معامل نفاذية التربة المخربة حول المصرف  $k_s$  اللذان يحددان تجريبياً , و يوضح الشكل (3) قطر الخلية الواحدية و قطر المصرف الشاقولي و حدود المنطقة المخربة حول المصرف الشاقولي , و المنطقة الانتقالية التي يتغير فيها عامل النفاذية من  $k_s$  إلى  $k_h$  .

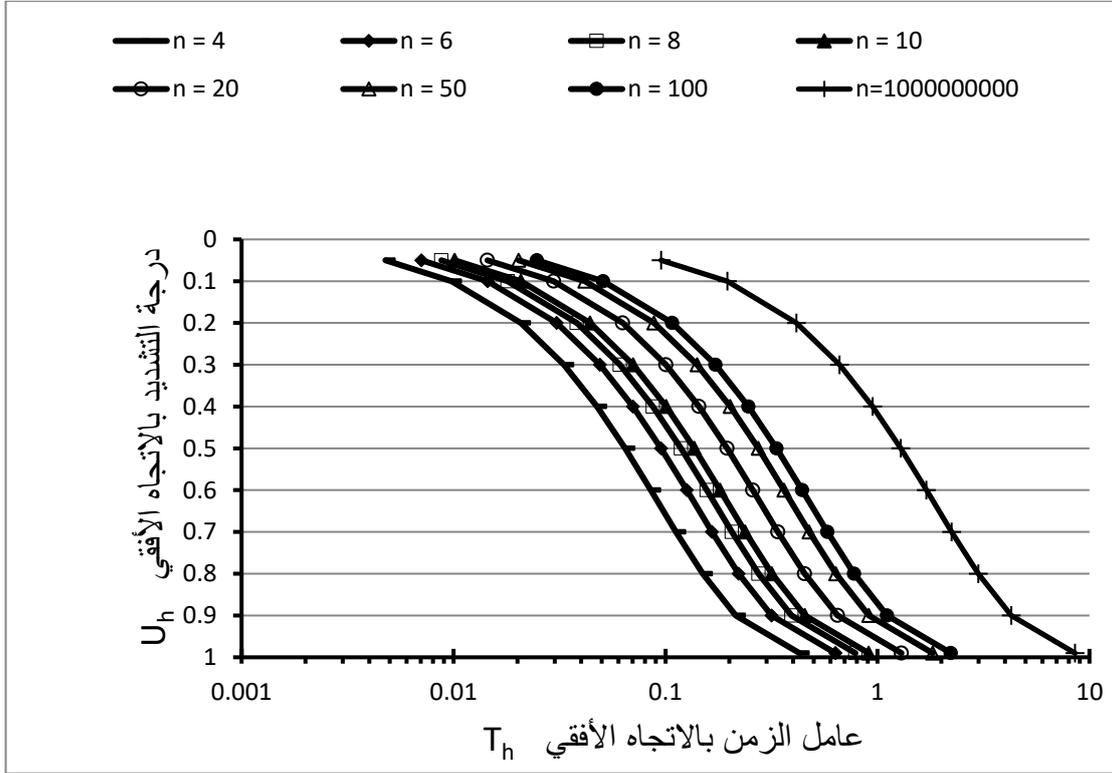


الشكل ( 3 ) : مقطع شاقولي توضيحي في الخلية الواحدة

نعرف العامل  $n$  بأنه نسبة المسافة بين المصارف ( قطر الخلية ) إلى قطر المصرف الشاقولي و  $n = d_e / d_w$  ، و العامل  $s$  بأنه نسبة قطر المنطقة المخربة إلى قطر المصرف الشاقولي  $s = d_s / d_w$  ، و بالاعتماد على دراسات حقلية و مخبرية أكد العديد من الباحثين أن العامل  $s$  يتراوح بين 2 و 4 ، و النسبة  $k_h / k_s$  تتراوح بين 2 و 10 ، ( Holtz and Holm 1973; Akagi 1976; Jamiolkowski et al. 1983; Hansbo 1986, 1987, 1997; Bergado et al. 1991, 1993a; Chai and Miura 1999; Hird and Moseley 2000; Eriksson et al. 2000; Sathananthan and Indraratna 2006 ) . ( 4 ) .

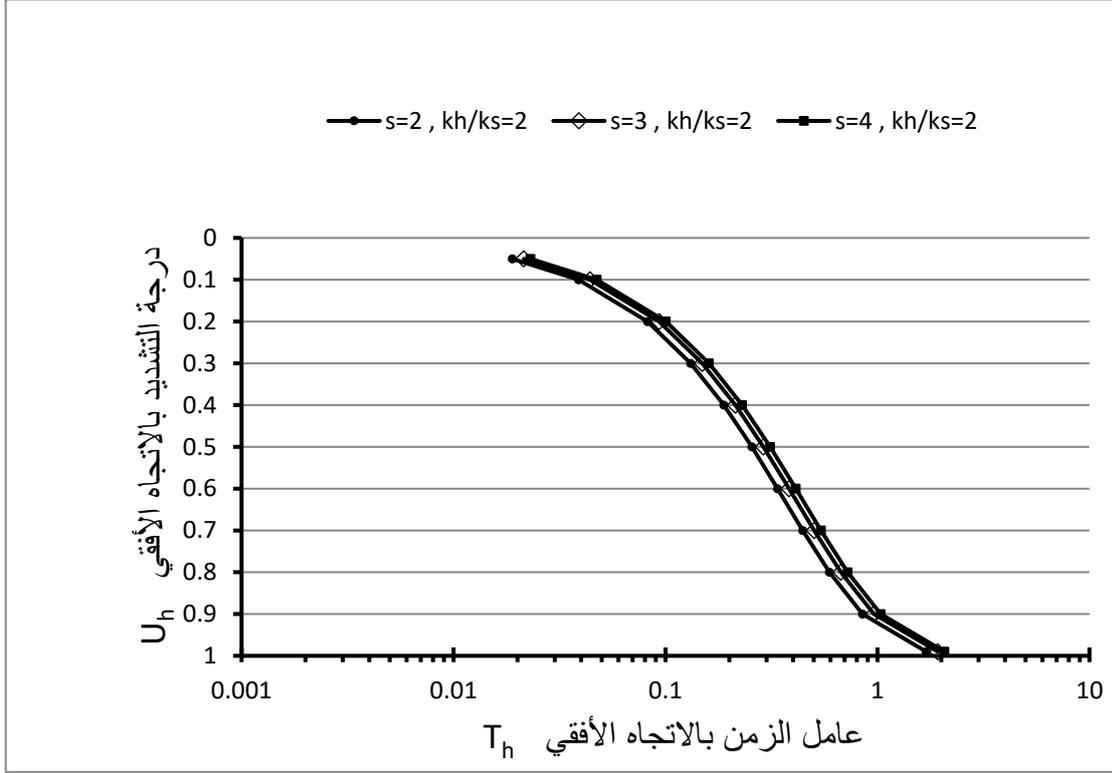
من علاقة درجة التشديد الأفقية مع عامل الزمن يتبين أن الزمن اللازم لتحقيق درجة تشديد معينة يتناقص مع تناقص المسافة بين المصارف كما هو موضح في الشكل ( 4 ) ، حيث تم إهمال وجود منطقة مخربة حول المصرف الشاقولي (  $k_h / k_s = 1$  ،  $s = 1$  ) و ذلك لدراسة تأثير التباعد بين

المصارف الشاقولية فقط , حيث وجدنا تناقص معامل الزمن من أجل نسبة تباعد بين المصارف  $n=1000000000$  و  $n=4$  بنسبة 95% . و الحالة  $n=1000000000$  تمثل تباعدات كبيرة بين المصارف الشاقولية و تكافئ نظرياً مسارات تصريف أفقية كبيرة جداً , مما يقلل من أهمية التصريف الأفقي , لكن تم اعتمادها للمقارنة حيث تمثل حالة عدم وجود للمصارف في التربة .



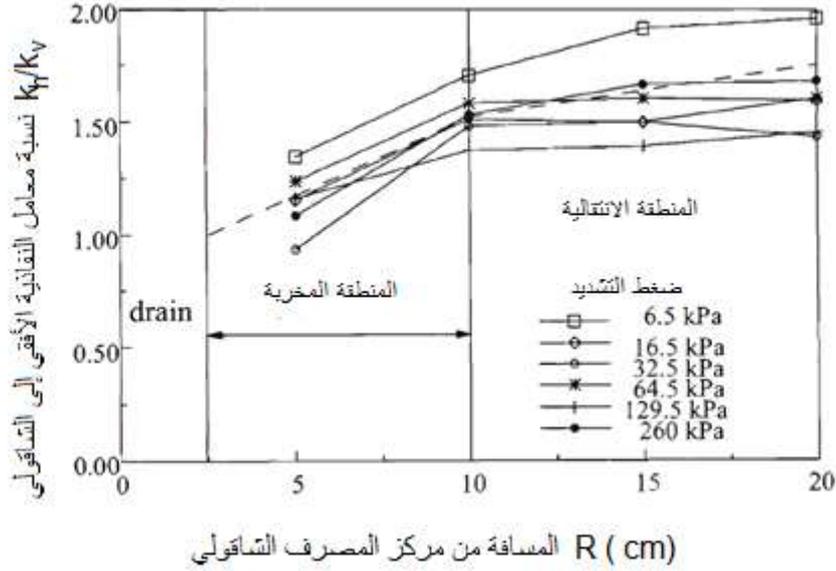
الشكل ( 4 ) : علاقة درجة التشديد مع عامل الزمن من أجل تباعدات مختلفة بين المصارف الشاقولية (  $k_h/k_s=1$  ,  $s=1$  ) .

في حين أن تشكل منطقة مخربة حول المصرف الشاقولي سيؤدي إلى تأخر زمن التشديد و سيزداد هذا الزمن مع ازدياد سماكة المنطقة المخربة المحيطة بالمصرف الشاقولي و الشكل ( 5 ) يوضح العلاقة بين درجة التشديد و عامل الزمن من أجل  $n=20$  و  $k_h/k_s=2$  من أجل نسب سماكات للمنطقة المخربة مختلفة (  $s=2,s=3,s=4$  ) حيث ازداد معامل الزمن من أجل  $s=2$  إلى  $s=4$  بمقدار 18% .



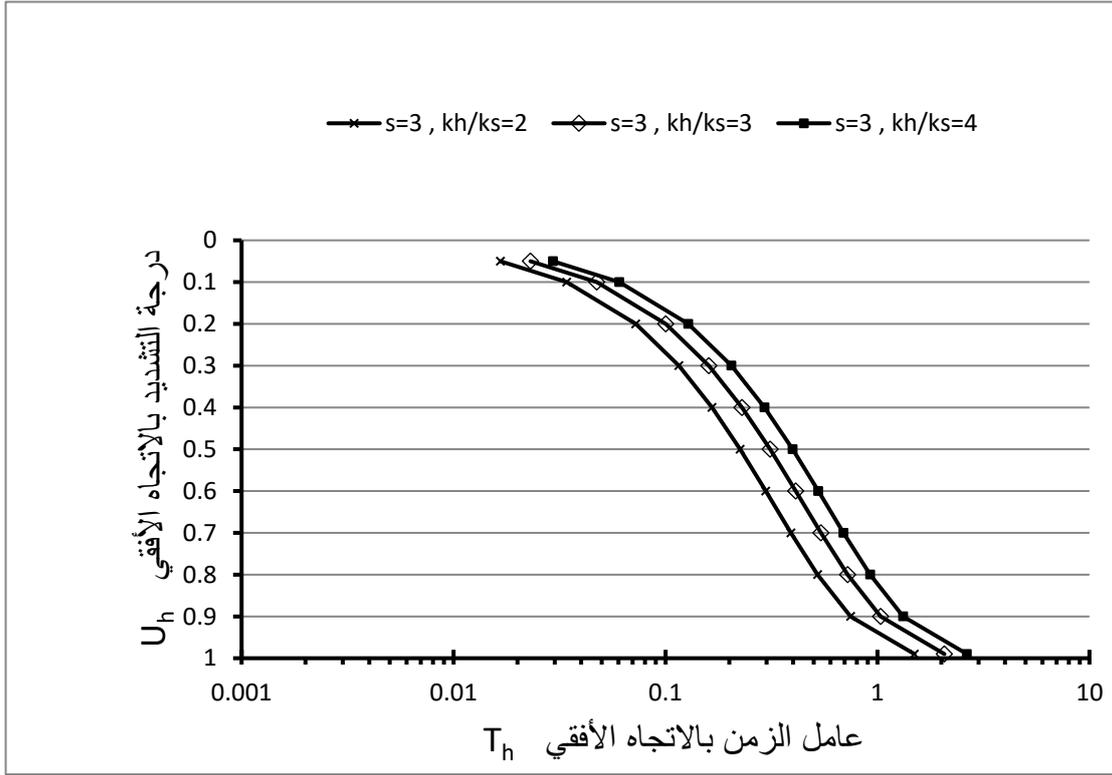
الشكل ( 5 ) : علاقة درجة التشديد مع عامل الزمن من أجل  $n=20$  و  $kh/ks=2$  من أجل نسب سماكات للمنطقة المخربة مختلفة (  $s=2,s=3,s=4$  ) .

و تجدر الإشارة إلى أن معامل النفاذية في المنطقة المخربة ليس ثابت ، بل يتزايد مع الابتعاد عن المصرف الشاقولي إلا أنه يبقى أقل من عامل نفاذية التربة الغضارية الحاوية على المصارف الشاقولية و الشكل ( 6 ) يوضح تزايد معامل النفاذية في المنطقة المخربة مع الابتعاد عن المصرف الشاقولي ، كما تزايد معامل النفاذية ضمن منطقة انتقالية تقع بعد المنطقة المخربة حتى الوصول لمعامل نفاذية التربة الغضارية (Indraralna and Redana 1998) (5) .



الشكل ( 6 ) : شكل توضيحي يبين تغير معامل النفاذية مع الابتعاد عن مركز المصرف الشاقولي ضمن المنطقة المخربة و ضمن المنطقة الانتقالية .

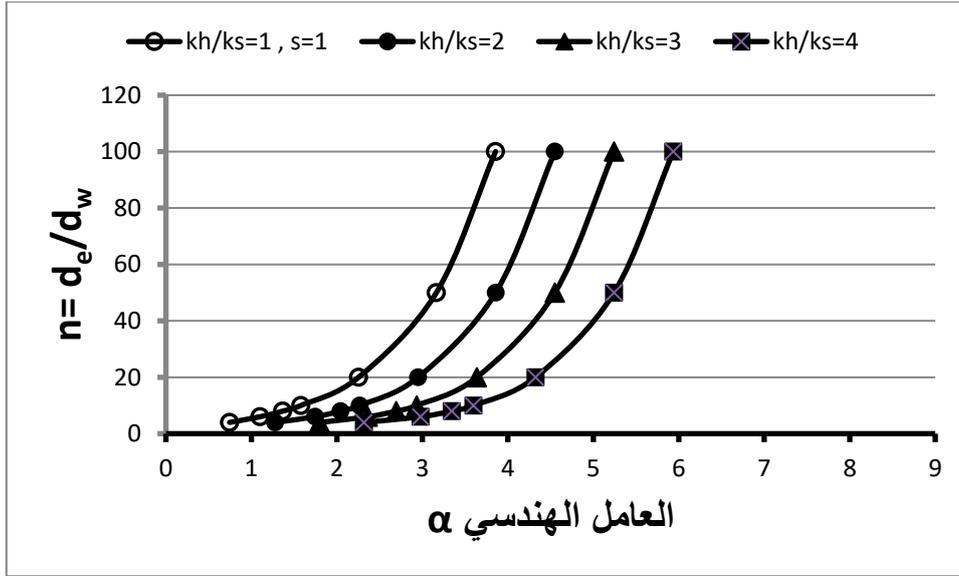
إن زيادة اكتتاز التربة في المنطقة المخربة ستؤدي إلى تناقص معامل نفاذيتها  $k_s$  تبعاً لطريقة التنفيذ و بالتالي ستزداد النسبة  $k_h/k_s$  و سيتأخر الزمن اللازم لتحقيق درجة تشديد معينة , و الشكل ( 7 ) يبين العلاقة بين درجة التشديد و عامل الزمن من أجل نسبة تباعد بين المصارف  $n=10$  و نسبة منطقة مخربة  $s=3$  و نسب نفاذية  $k_h/k_s$  (2,3,4) , حيث تبين أن معامل الزمن تناقص من الحالة التي يكون فيها معامل نفاذية المنطقة المخربة ربع معامل نفاذية التربة الغضارية إلى الحالة التي يكون فيها معامل نفاذية المنطقة المخربة نصف معامل نفاذية التربة الغضارية بمقدار 43.5%



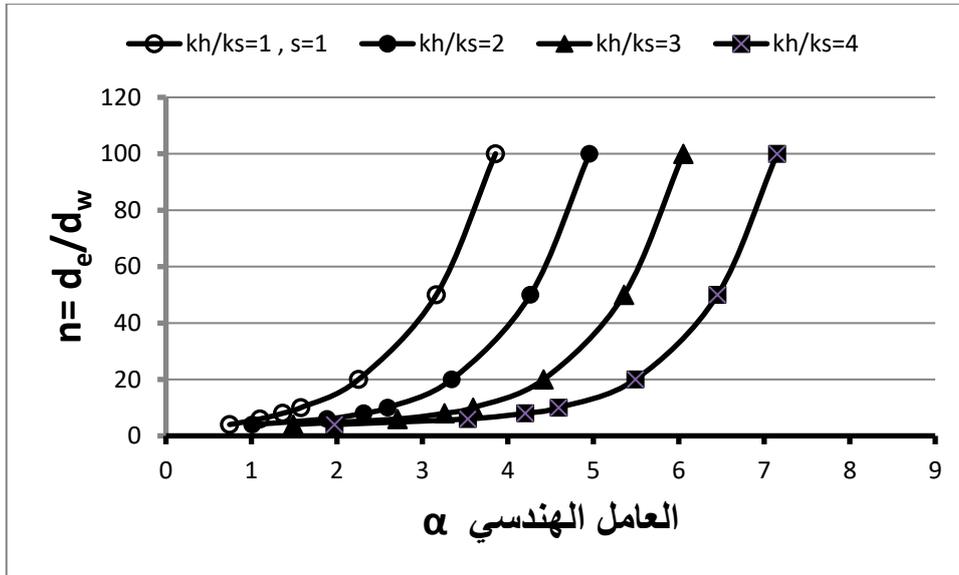
الشكل ( 7 ) : علاقة درجة التشديد مع عامل الزمن من أجل  $n=10$  و  $s=3$  و  $k_h/k_s=2$  ,

$$k_h/k_s=4 , k_h/k_s=3$$

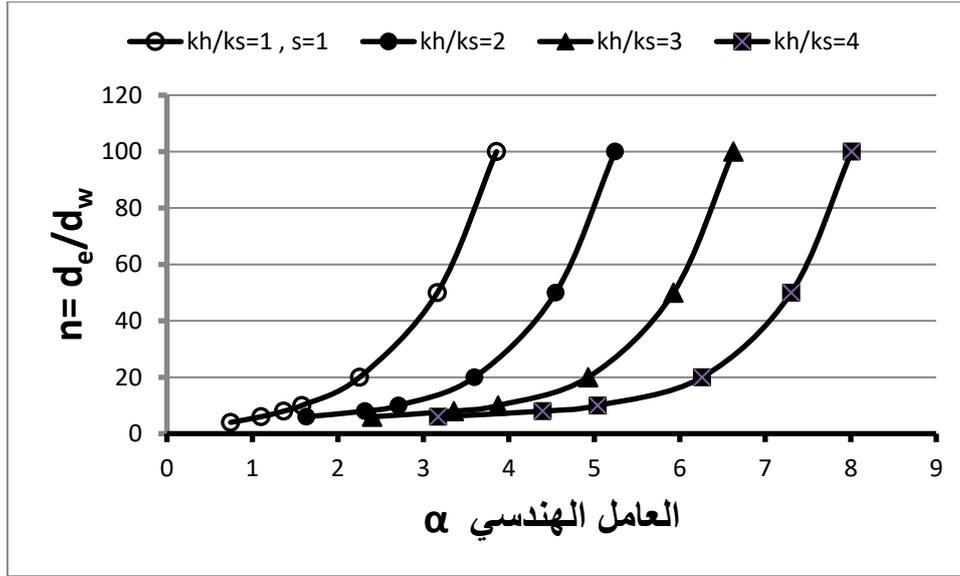
تبين الأشكال ( 8 ) ( 9 ) ( 10 ) المنحنيات التصميمية لنظام المصارف الشاقولية , فمن العلاقة ( 2 ) و لاستيفاء درجة تشديد أفقية معينة خلال زمن معين يمكن تحديد العلاقة بين العامل الهندسي  $\alpha$  و نسبة التباعد بين المصارف  $n=d_e/d_w$  و ذلك من أجل مناطق مخربة ذات سماكات مختلفة حول المصرف الشاقولي  $s=2, s=3, s=4$  .



الشكل ( 8 ) : العلاقة بين العامل الهندسي  $\alpha$  و  $n$  من أجل  $s=2$



الشكل ( 9 ) : العلاقة بين العامل الهندسي  $\alpha$  و  $n$  من أجل  $s=3$



الشكل ( 10 ) : العلاقة بين العامل الهندسي  $\alpha$  و  $n$  من أجل  $s=4$

### نمذجة سلوك المصرف الشاقولي

#### Modeling The Behavior Of a Vertical Drain

لشرح سلوك المصرف الشاقولي ضمن التربة الغضارية , تم استخدام برنامج العناصر المحدودة -GEO SLOPE , حيث أخذت خلية إسطوانية واحدة من التربة يمثل قطرها التباعد بين المصارف الشاقولية  $d_e=4m$  و  $d_e=3m$  و  $d_e=2m$  وضع في مركزها المصرف الشاقولي بطول  $L=6m$  و بقطر  $d_w=1m$  , إن هذا النوع من الدراسة يتطلب تحليلاً مزدوجاً حيث استخدم البرنامج الفرعي SIGMA/W من أجل مواصفات المواد و الشروط الحدودية , و البرنامج الفرعي SEEP/W من أجل الشروط الهيدروليكية و دراسة التسرب .

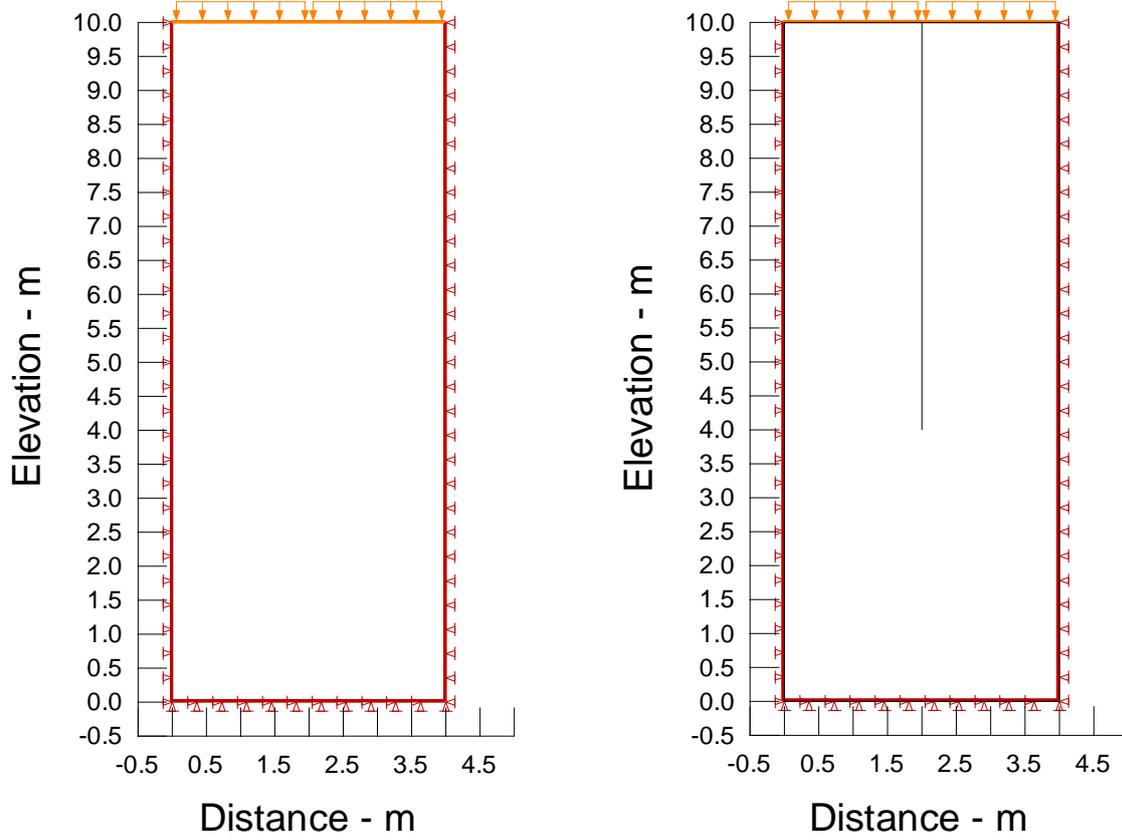
تم التعامل مع التربة كمادة مرنة Liner-Elastic material موحدة الخواص , معامل مرونتها  $E=5000$  kPa , معامل بواسون  $\nu=0.334$  .

عامل نفاذية التربة الغضارية  $k=1 \times 10^{-4}$  m/day =  $1.16 \times 10^{-7}$  cm/sec .

و عامل نفاذية تربة المصرف بالاتجاه الشاقولي  $k_v=1 \times 10^{-4}$  m/day =  $1.16 \times 10^{-7}$  cm/sec , و بالاتجاه الأفقي  $k_h=1 \times 10^{-1}$  m/day =  $1.16 \times 10^{-4}$  cm/sec وذلك لدراسة التشديد بالاتجاه الأفقي فقط .

يبين الشكل ( 11 ) النموذج المعتمد لدراسة سلوك المصرف الشاقولي ( a بدون المصرف الشاقولي , b مع المصرف الشاقولي ) مع توضيح الشروط الطرفية و الهيدروليكية حيث تم تقييد النموذج من جميع

الجهات و حُدّد منسوب المياه على السطح العلوي للنموذج , وتم تحميل سطح التربة بحمولة موزعة بانتظام مقدارها  $q = 100 \text{ kPa}$  , حيث تم تحليل النتائج خلال 365 يوم تحميل .



a : بدون وجود المصرف

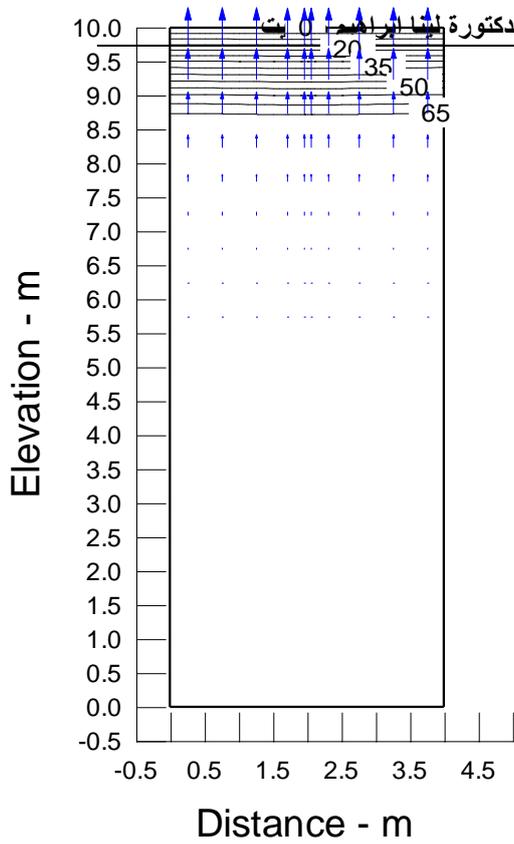
b : مع وجود المصرف

الشكل ( 11 ) : النموذج المعتمد لدراسة سلوك المصرف الشاقولي  $d_e=4\text{m}$  .

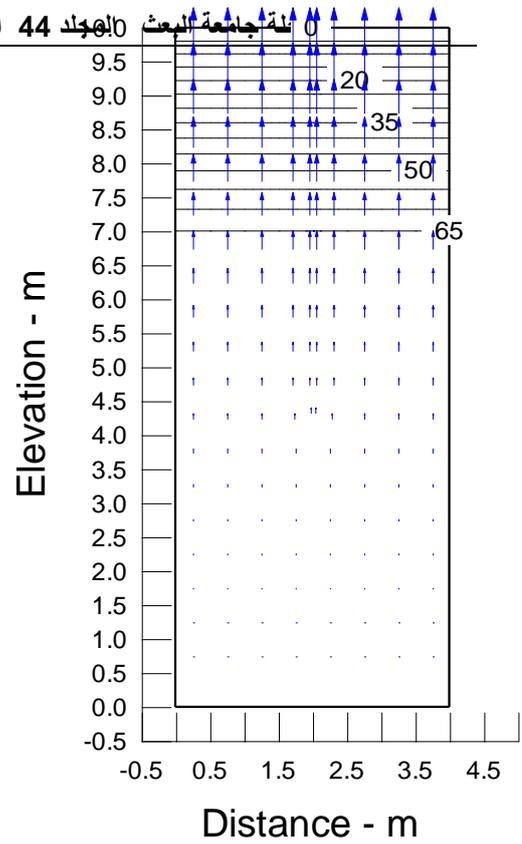
### تحليل النتائج :

#### Results Analys :

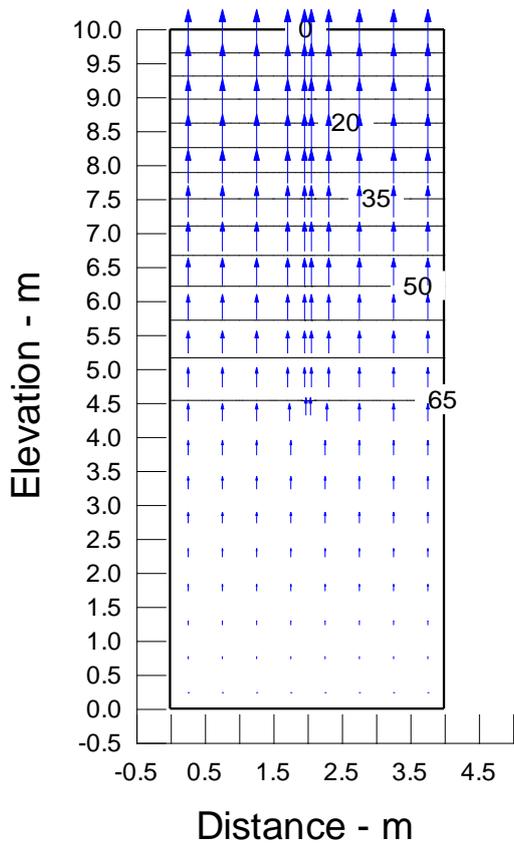
يبين الشكل ( 12 ) خطوط الكونتور التي تبين قيمة ضغط ماء المسام في التربة الغضارية في حال عدم وجود المصرف و ذلك في الأيام 12 , 67 , 208 , 365 يوم , حيث نجد أن ضغط ماء المسام يتبدد مع الزمن نتيجة التصريف الشاقولي , إلا أن تبدد ضغط ماء المسام يصبح أسرع في حال استخدام المصرف الشاقولي  $d_e=4\text{m}$  نتيجة التصريف الأفقي و هذا ما أثبتته نتائج النمذجة العددية لسلوك المصرف الشاقولي , فالشكل ( 13 ) يبين خطوط الكونتور التي تبين قيمة ضغط ماء المسام في التربة الغضارية في حال وجود المصرف  $d_e=4\text{m}$  و ذلك في الأيام 12 , 67 , 208 , 365 يوم .



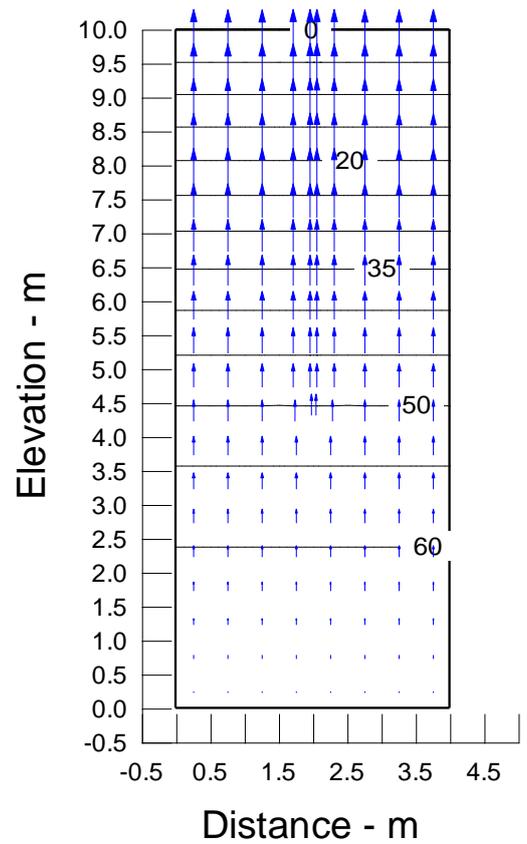
خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 12



خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 67



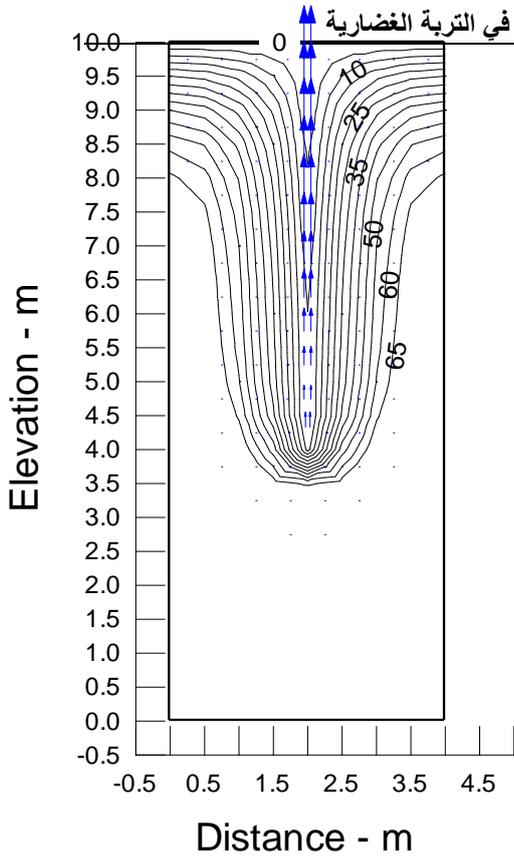
خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 208



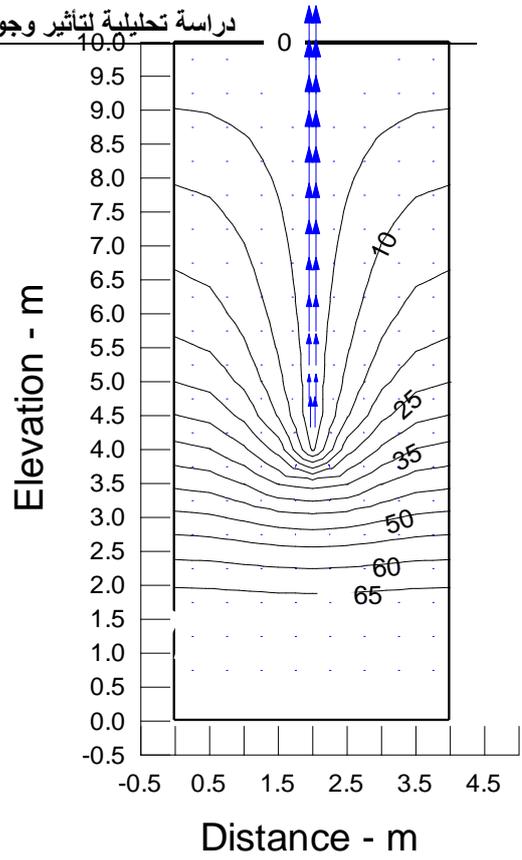
خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 365

الشكل (12): خطوط الكونتور لضغط ماء المسام بدون مصرف في الأيام 12 و 67 و 208 و 365

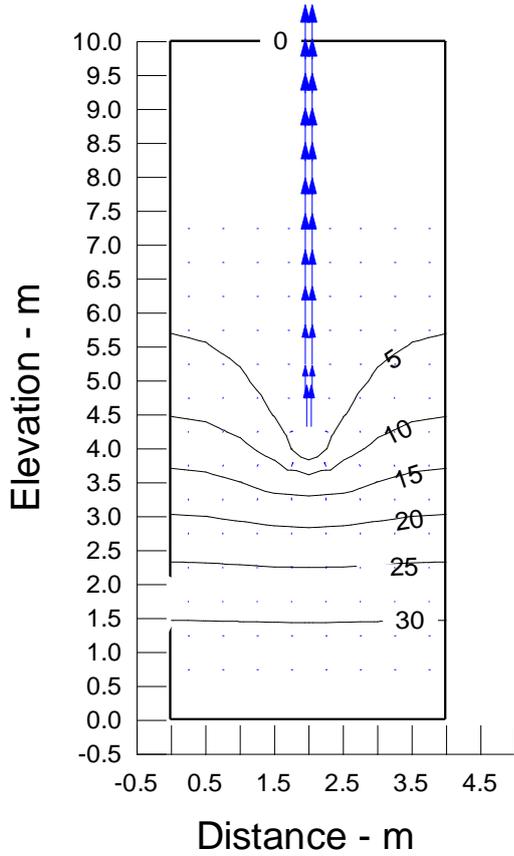
دراسة تحليلية لتأثير وجود المصارف الشاقولية في التربة الغضارية



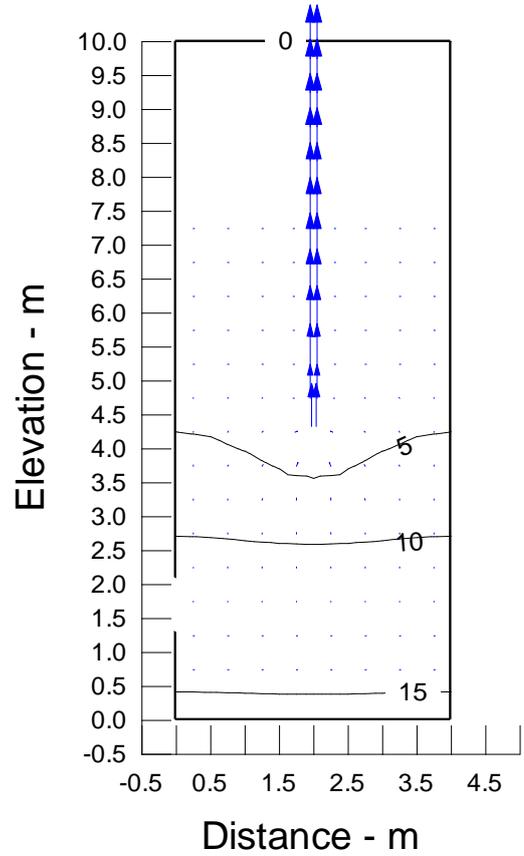
خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 12



خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 67



خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 208

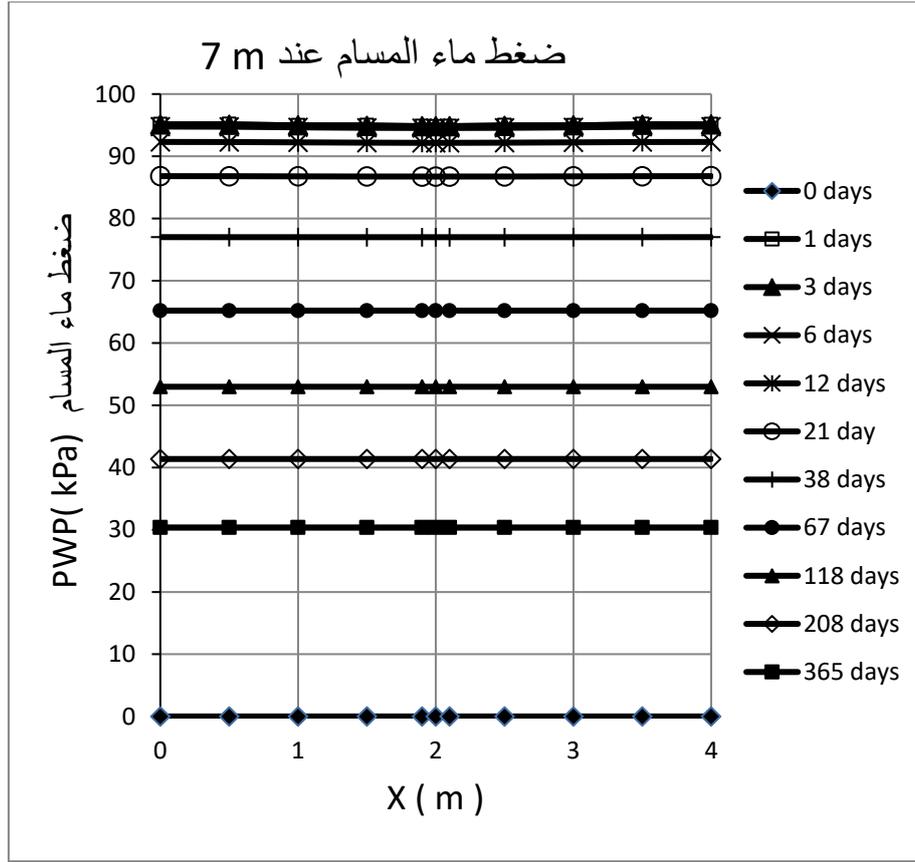


خطوط الكونتور لضغط ماء المسام في اليوم 365

الشكل (13) : خطوط الكونتور لضغط ماء المسام بوجود المصرف  $d_e=4m$  في الأيام 12 و 67 و 208 و 365

و لتوضح تغير ضغط ماء المسام مع الزمن تم اختيار منسوب 7m و رسمنا العلاقة بين ضغط ماء المسام ( kPa ) PWP و المسافة الأفقية ( m ) X عند هذا المنسوب و خلال أزمنة مختلفة ( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم , كما هو موضح في الشكل ( 14 ) حيث وجدنا أن ضغط ماء المسام ثابت ضمن المنسوب نفسه و خلال زمن معين , إلا أن الضغط يتبدد مع تزايد الزمن . و الجدول (1) يبين قيم ضغط ماء المسام PWP عند المنسوب 7m و خلال الأزمنة ( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم بحال عدم وجود المصرف الشاقولي في التربة .

و بالمقابل تمت دراسة تغير ضغط ماء المسام ( kPa ) PWP و المسافة الأفقية ( m ) X عند المنسوب 7m و بحال وجود المصرف الشاقولي  $d_e=4m$  كما هو موضح في الشكل ( 15 ) و خلال الأزمنة نفسها ( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم , حيث وجدنا أن ضغط ماء المسام يتناقص بالاقتراب من المصرف الشاقولي ضمن المنسوب نفسه و خلال زمن معين , و بالمجمل يتلاشى ضغط ماء المسام مع تزايد الزمن بشكل أسرع مقارنةً مع حالة عدم وجود المصرف الشاقولي . و الجدول (2) يبين قيم ضغط ماء المسام PWP عند المنسوب 7m و خلال الأزمنة ( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم و ذلك بحال وجود المصرف الشاقولي  $d_e=4m$  في التربة , و لمعرفة جدوى وجود المصرف الشاقولي في التربة الغضارية تم حساب تناقص ضغط ماء المسام الناتج عن وجود المصرف الشاقولي في التربة خلال أزمنة مختلفة و رسمت العلاقة بين تناقص ضغط ماء المسام و بين المسافة الأفقية خلال هذه الأزمنة في الشكل (16) بينما يوضح الجدول (3) قيم تناقص ضغط ماء المسام الناتجة عن وجود المصرف الشاقولي  $d_e=4m$  في التربة حيث نجد أن نسبة تلاشي ضغط ماء المسام عند المنسوب 7m تزداد مع الاقتراب من المصرف من جهة و مع ازدياد الزمن من جهة أخرى .

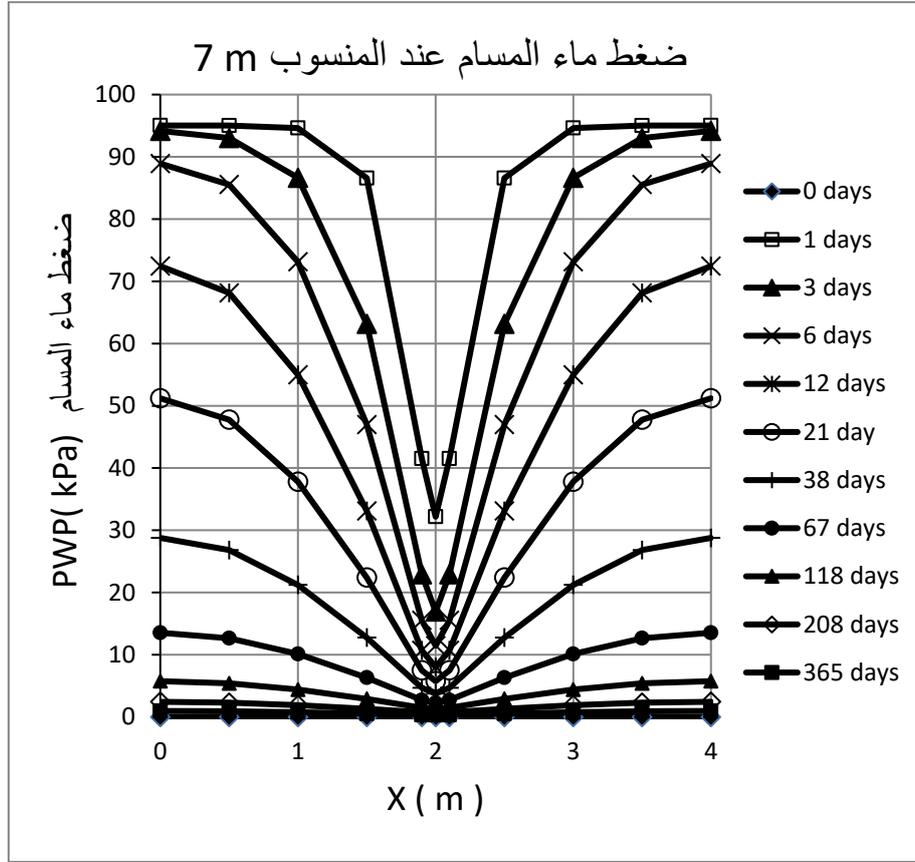


الشكل ( 14 ) : تغير ضغط ماء المسام PWP عند المنسوب 7m و خلال أزمنة مختلفة في حال عدم وجود مصرف شاقولي في التربة .

365 days	208 days	118 days	67 days	38 days	21 days	12 days	6 days	3 days	1 days	0 days	X (m)
( PWP ) kPa ضغط ماء المسام											
30.37	41.36	52.97	65.20	77.01	86.81	92.30	94.77	95.11	95.11	0	0
30.37	41.36	52.97	65.20	77.01	86.80	92.28	94.74	95.08	95.15	0	0.5
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.77	92.23	94.66	94.98	94.93	0	1
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.75	92.18	94.58	94.88	94.98	0	1.5
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.74	92.15	94.54	94.85	94.83	0	1.9
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.74	92.15	94.54	94.85	94.75	0	2
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.74	92.15	94.54	94.85	94.83	0	2.1
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.75	92.18	94.58	94.88	94.98	0	2.5
30.37	41.36	52.97	65.20	77.00	86.77	92.23	94.66	94.98	94.93	0	3
30.37	41.36	52.97	65.20	77.01	86.80	92.28	94.74	95.08	95.15	0	3.5
30.37	41.36	52.97	65.20	77.01	86.81	92.30	94.77	95.11	95.11	0	4

الجدول (1) : قيم ضغط ماء المسام PWP عند المنسوب 7m و خلال الأزمنة

( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم .

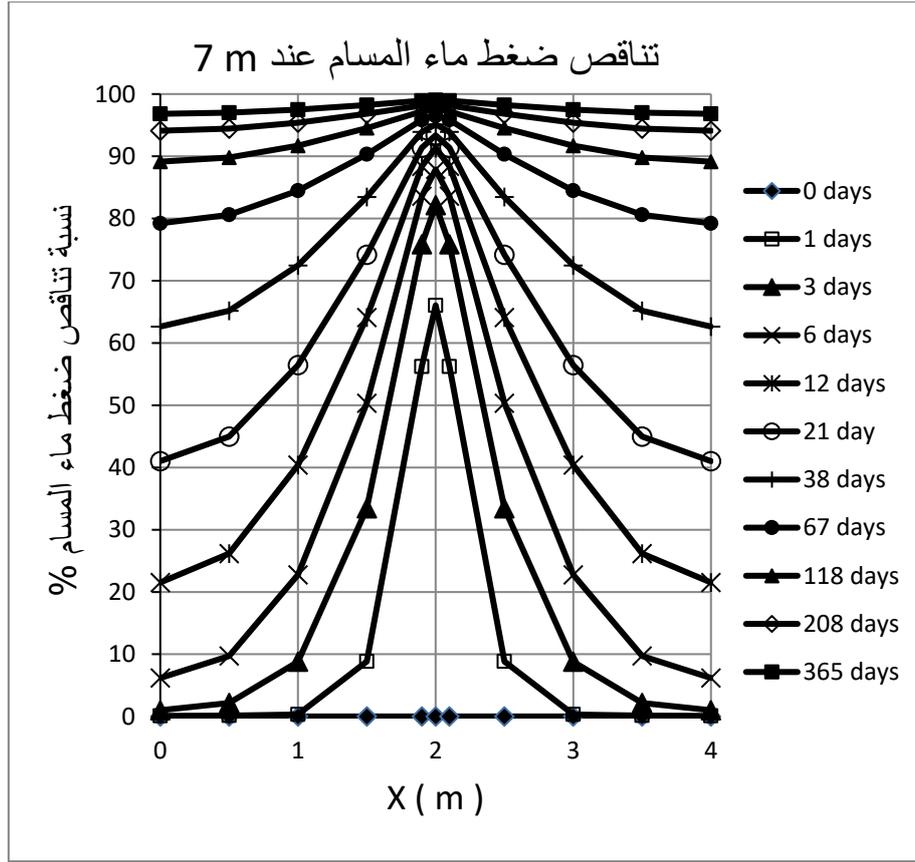


الشكل ( 15 ) : تغير ضغط ماء المسام PWP عند المنسوب 7m و خلال أزمنة مختلفة في حال وجود مصرف شاقولي في التربة .

365 days	208 days	118 days	67 days	38 days	21 days	12 days	6 days	3 days	1 days	0 days	X (m)
( ضغط ماء المسام PWP ) ( kPa )											
0.97	2.44	5.76	13.54	28.77	51.20	72.43	88.91	94.16	95.03	0	0
0.91	2.30	5.41	12.65	26.82	47.77	68.14	85.54	93.02	95.01	0	0.5
0.76	1.91	4.40	10.12	21.21	37.80	54.98	73.12	86.63	94.62	0	1
0.54	1.31	2.90	6.32	12.75	22.40	33.10	46.98	63.16	86.58	0	1.5
0.32	0.76	1.48	2.71	4.69	7.49	10.71	15.52	22.91	41.52	0	1.9
0.30	0.69	1.31	2.28	3.75	5.75	8.02	11.46	16.94	32.17	0	2
0.32	0.76	1.48	2.71	4.69	7.49	10.71	15.52	22.91	41.52	0	2.1
0.54	1.31	2.90	6.32	12.75	22.40	33.10	46.98	63.16	86.58	0	2.5
0.76	1.91	4.40	10.12	21.21	37.80	54.98	73.12	86.63	94.62	0	3
0.91	2.30	5.41	12.65	26.82	47.77	68.14	85.54	93.02	95.01	0	3.5
0.97	2.44	5.76	13.54	28.77	51.20	72.43	88.91	94.16	95.03	0	4

الجدول (2) يبين قيم ضغط ماء المسام PWP عند المنسوب 7m و خلال الأزمنة

( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم بحال وجود المصرف الشاقولي  $d_e=4m$  في التربة



الشكل ( 16 ) : نسبة تناقص ضغط ماء المسام % عند المنسوب 7m و خلال أزمنة مختلفة نتيجة وجود مصرف شاقولي  $d_e=4m$  في التربة .

365 days	208 days	118 days	67 days	38 days	21 days	12 days	6 days	3 days	1 days	0 days	X (m)
نسبة تناقص ضغط ماء المسام $\Delta U$ % بوجود مصارف شاقولية حيث $d_e = 4m$											
96.82	94.10	89.13	79.23	62.64	41.02	21.52	6.18	1.00	0.09	0.00	0
96.99	94.44	89.80	80.59	65.18	44.96	26.16	9.71	2.16	0.14	0.00	0.5
97.49	95.39	91.69	84.48	72.45	56.44	40.38	22.75	8.79	0.33	0.00	1
98.23	96.82	94.52	90.31	83.44	74.18	64.09	50.32	33.44	8.84	0.00	1.5
98.93	98.17	97.20	95.85	93.90	91.36	88.38	83.58	75.85	56.22	0.00	1.9
99.02	98.34	97.53	96.51	95.13	93.37	91.30	87.88	82.14	66.04	0.00	2
98.93	98.17	97.20	95.85	93.90	91.36	88.38	83.58	75.85	56.22	0.00	2.1
98.23	96.82	94.52	90.31	83.44	74.18	64.09	50.32	33.44	8.84	0.00	2.5
97.49	95.39	91.69	84.48	72.45	56.44	40.38	22.75	8.79	0.33	0.00	3
96.99	94.44	89.80	80.59	65.18	44.96	26.16	9.71	2.16	0.14	0.00	3.5
96.82	94.10	89.13	79.23	62.64	41.02	21.52	6.18	1.00	0.09	0.00	4

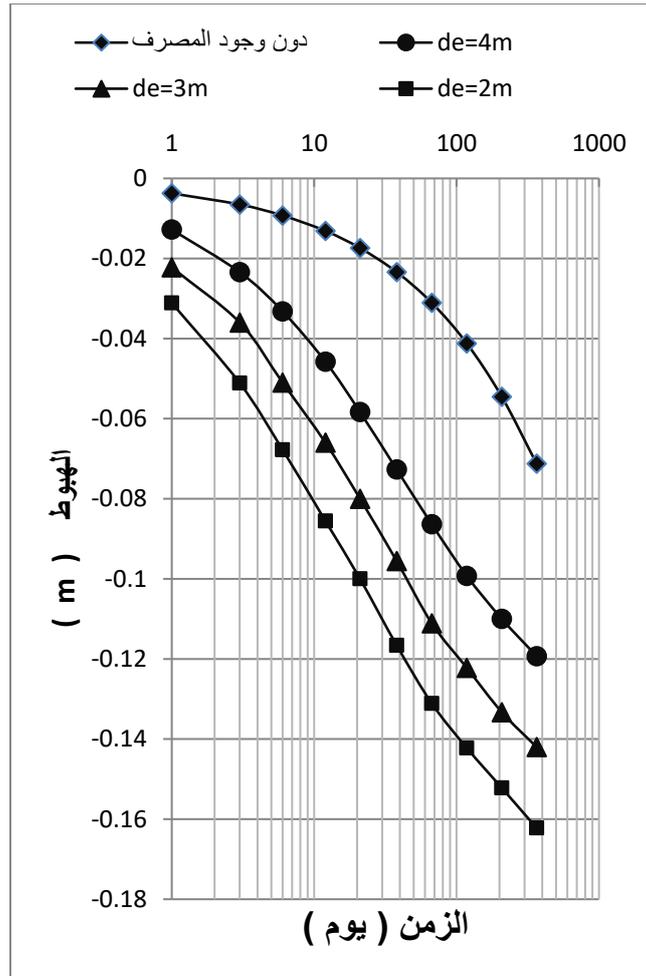
الجدول (3) يبين قيم تناقص ضغط ماء المسام % عند المنسوب 7m و خلال الأزمنة

( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 ) يوم نتيجة وجود المصرف الشاقولي  $d_e=4m$  في التربة

من جهة أخرى تم دراسة سلوك هبوط التربة الغضارية مع الزمن و ذلك بحال عدم وجود مصرف شاقولي و بحال وجود مصارف شاقولية بتباعدات 4m و 3m و 2m , حيث يبين الجدول ( 4 ) يبين تناقص قيم الهبوط مع تناقص المسافة بين المصارف, فالمصارف الشاقولية بتباعدات 4m زادت الهبوط بنسبة 71.43% بعد 365 يوم و المصارف الشاقولية بتباعدات 3m زادت الهبوط بنسبة 100% بعد 365 يوم و المصارف الشاقولية بتباعدات 2m زادت الهبوط بنسبة 128.57% بعد 365 يوم , و الشكل ( 17 ) يوضح العلاقة بين الهبوط و الزمن لكل من الحالات السابقة .

بدون وجود المصرف	بوجود مصرف $d_e = 4m$	بوجود مصرف $d_e = 3m$	بوجود مصرف $d_e = 2m$	الزمن (days)
الهبوط (m)				
0.00	-0.01	-0.02	-0.03	1
-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	3
-0.01	-0.03	-0.05	-0.07	6
-0.01	-0.05	-0.07	-0.09	12
-0.02	-0.06	-0.08	-0.10	21
-0.02	-0.07	-0.10	-0.12	38
-0.03	-0.09	-0.11	-0.13	67
-0.04	-0.10	-0.12	-0.14	118
-0.05	-0.11	-0.13	-0.15	208
-0.07	-0.12	-0.14	-0.16	365

الجدول (4) يبين قيم هبوط التربة الغضارية بحال عدم وجود مصرف شاقولي و بحال وجود مصارف شاقولية بتباعدات 4m و 3m و 2m خلال الأزمنة ( 0,1,3,6,12,21,38,67,118,208,365 )



الشكل ( 17 ) : يوضح العلاقة بين الهبوط و الزمن بحال عدم وجود مصرف شاقولي و بحال وجود مصارف شاقولية بتباعدات 2m و 3m و 4m .

## الاستنتاجات و التوصيات :

### Conclusions and Recommendations :

1- يسرع وجود المصرف الشاقولي في التربة الغضارية من عملية التشديد , فقد بينت الدراسة السابقة على النموذج العددي المقترح أن هبوط التربة الغضارية الحاوية على مصارف شاقولية يكون أكبر من هبوطها بدون وجود المصارف , و يزداد هذا الهبوط مع تناقص المسافة بين المصارف , فخلال 365 يوم ازداد الهبوط من 7 cm بحال عدم وجود مصرف إلى 12 cm أي بمقدار 71.4% بحال وجود مصارف بتباعدات 4m , و إلى 14 cm أي بمقدار 100% بحال وجود مصارف بتباعدات 3m , و إلى 16 cm أي بمقدار 128.6% بحال وجود مصارف بتباعدات 2m .

2- يبدد وجود المصرف الشاقولي في التربة الغضارية ضغط ماء المسام الناتج عن عملية التشديد , فقد بينت الدراسة التحليلية أن ضغط ماء المسام يتناقص بمجرد وجود المصرف الشاقولي في التربة و يزداد تبدد ضغط ماء المسام مع الاقتراب من المصرف و مع تناقص المسافة بين المصارف , فمن أجل تباعدات بين المصارف 4m و خلال 365 و على عمق 7m تبدد ضغط ماء المسام بمقدار 96.82% على بعد 2m من المصرف إلى 99% بجانب المصرف .

3- تتعرض المنطقة حول المصرف الشاقولي لعملية تخريب و تختلف سماكة المنطقة المخربة تبعاً لتقنية تنفيذ المصرف , الأمر الذي يؤدي إلى اختلاف عامل نفاذيتها عن عامل نفاذية التربة الغضارية , مما يؤخر عملية التشديد , وهذا ما تم إثباته من الدراسة التحليلية . لذلك ينصح باختيار عملية تنفيذ المصارف الشاقولية التي يكون فيها تخريب التربة حول المصرف أقل ما يمكن .

4- تم التوصل إلى منحنيات تصميمية يمكن من خلالها تصميم نظام المصارف الشاقولية و ذلك بمعرفة التباعدات فيما بينها بغية تحقيق درجة تشديد معينة .

5- لا بد من تطوير النموذج العددي المقترح لدراسة تأثير وجود عدة مصارف تغطي مساحة معينة و بتوزعات مختلفة ( رؤوس مربع أو رؤوس مثلث ) على عملية التشديد .

## References

المراجع :

- 1- BRAJA M. DAS -2010-Principles of Geotechnical Engineering, 7th Edition.
- 2- Buddhima Indraratna - Jian Chu - John A. Hudson -2005- Ground Improvement — Case Histories .
- 3- <http://openjicareport.jica.go.jp> – Soft Ground Treatment .
- 4- Hossam M. Abuel-Naga, Dennis T. Bergado, and Joel Gniel -2015- Design Chart for Prefabricated Vertical Drains Improved Ground .
- 5- Iyathurai Sathananthan -2005- Modelling of Vertical Drains With Smear Installed In Soft Clay .
- 6- Jun-Chun Chai and Norihiko Miura - 1999 - INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING VERTICAL DRAIN BEHAVIOR .
- 7- N. K. Lee and S. G. Chung -2009- Reevaluation of the Factors Influencing the Consolidation of Ground by Incorporating Prefabricated Vertical Drains .
- 8- Sven Hansbo - 2005 Experience of consolidation process from test areas with and without vertical drains .
- 9- P. Purushothama Raj - 2013- SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING .