تحديد معامل النفاذية "k" لعدة مواقع داخل مدينة مصراتة وتقييم مدى تأثيرها على مقاومة التربة للقص

أ.م. نوارة البشير الشعاف[1]
كلية الهندسة جامعة مصراتة، قسم الهندسة المدنية، مصراتة، ليبيا
Nowara3elshaaf@gmail.com

د. محمود موسى شنينة[2]
كلية الهندسة جامعة مصراتة، قسم الهندسة المدنية، مصراتة، ليبيا
Mahmoud.shanina@yahoo.com

استلمت الورقة بتاريخ 2025/01/12، وقبلت بتاريخ 2025/02/13 ونشرت بتاريخ 2025/02/16

الكلمات المفتاحية: معامل النفاذية، ثابت الجهد، متغير الجهد، مقاومة التربة للقص، مدينة مصراتة.

الملخص

نظراً للتطور العمراني المرتقب في البناء وتشييد المباني العالية داخل مدينة وتنفيذ بعض السدود الترابية في المدن الأخرى داخل دولة ليبيا وبسبب كون أن نفاذية التربة من العوامل المهمة التي تؤثر على استقراريه المنشأة ويعتبر معامل النفاذية للترب غير المشبعة غير ثابت وبسبب تغير قيم معاملات النفاذية من منطقة إلى أخرى في مدينة مصراتة وأيضا تغيرها أفقياً وعمودياً للمنطقة الواحدة، ونظراً لاستخدام عدة أنواع من التربة مثل التربة الرملية **(Sandy Soil),** التربة الطينية **(Clay Soil)** التربة الرملية الطينية **(Sandy Clay Soil)** وبعض الأنواع الأخرة من التربة بشكل واسع في عملية التأسيس وتنفيذ السدود والمباني العالية عليها فإنه بات من الضروري دراسة ومعرفة خواص هذه الأنواع من الترب المتواجدة داخل مدينة مصراتة بشكل أوسع، حيث تم اختيار بعض المناطق من اجل محكاه هذا الاختلاف في تربة مدينة مصراتة وسوف يتم دراسة عدة مناطق وهي منطقة السكت، منطقة الدفنية، منطقة الفلاجة، منطقة الحزام الأخضر، منطقة الفكارنة ومنطقة الجزيرة. هذه الدراسة عبارة عن دراسة تجريبية معملية تهدف إلى التعرف على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لهذه الأنواع من التربة، كما سيتم الاهتمام والتركيز بشكل واسع على تحديد معامل النفاذية **(Permeability Coefficient – k)** لكل أنواع التربة التي تم ذكرها أعلاه عن طريق جهاز النفاذية ثابت الجهد **(Constant Head Permeameter)** وجهاز الجهد المتغير **(Falling head Permeameter)** وتقييم مدى تأثيرها على مقاومة التربة للقص باستخدام جهاز القص المباشر **(Direct Shear Test Apparatus (DST)).** ففي الآونة الأخيرة تم ملاحظة ارتفاع منسوب المياه الجوفية داخل مدينة مصراتة وقد سبب هذا في بعض المشاكل الإنشائية لأغلب المباني ومنها مستشفى الشفاء بمنطقة الرويصات، مسجد النوري والذي تم إزالته بالكامل.

1. المقدمة Introduction

تعتبر التربة مادة مسامية فأي مادة مسامية لها مسام أو فراغات تسمح بحركة الهواء والماء من خلالها، حيث أن الماء ينتقل ويصل إلى قاع المادة المسامية من خلال هذه الفراغات. دراسة نفاذية التربة وتحديد معامل النفاذية k يعتبر من أهم الدراسات لجميع أعمال الهندسية المتعلقة بمشاريع التشييد لأنه عند إنشاء المبنى وبمجرد وضع الأساس فإنه من المهم عدم حدوث تسرب المياه من خلال كتلة التربة التي يقام عليها المنشئ حيث يسبب وجود المياه بالتربة مشاكل عديدة سواء أثناء التنفيذ أو بعد التنفيذ وحركة المياه داخل فراغات التربة أو ارتفاعها بالخاصية الشعرية (Capillarity) يسبب متاعب تنفيذية، كما حدث في مستشفى الشفاء بمدينة مصراتة من ارتفاع منسوب المياه الجوفية مما أدى إلى مشاكل في الطابق تحت الأرض ومسجد النوري في مدينة مصراتة بمنطقة السكيرات الذي تم إزالته بالكامل. هذه الدراسة تساعدنا في تحديد معامل النفاذية k للترب غير المشبعة لأنه غير ثابت وبسبب تغير قيم معاملات النفاذية من منطقة إلى أخرى في مدينة مصراتة وأيضا تغيرها أفقياً وعمودياً للمنطقة الواحدة، فباتَ من الضرورة القصوى دراسة وتحديد معامل النفاذية لأماكن مختلفة داخل مدينة مصراتة. وكما أنه يمكننا التعرف على تأثيرات النفاذية على معدل الهبوط لتركيب البنائي للتربة تحت تأثير الأحمال (نسبة الهبوط للمباني)، وتصميم السدود يعتمد اعتماد كبير جدا على نفاذية التربة المستخدمة. بالإضافة إلى إنه يعطي فكرة مسبقة عن تسوية الأساس والتغيرات الحجمية في طبقات التربة عند تعرضها للسوائل أو الماء. كذلك من ناحية اقتصادية فهذا يعتبر فاقد اقتصادي وخسارة كبيرة في الأموال.

Nowara3elshaaf@gmail.com

2. الهدف من الدراسة Objective

الأهداف الأساسية من هذه الدراسة يتلخص في الآتي:

- تحديد معامل النفاذية "k" لمواقع مختلفة داخل مدينة مصراتة بسبب عدم ثبوت هذا المعامل من تربة إلى أخرى.
- تقييم مدى تأثير معامل النفاذية "k" على مقاومة التربة للقص.
- التعرف على الخصائص الطبيعية لأنواع مختلفة للترب داخل مدينة مصراتة.

3. موقع الدراسة Study Site

تمّ إجراء التجارب المعملية على عدة مناطق داخل مدينة مصراتة وهي منطقة السكت جنوب مدينة مصراتة، منطقة الدفنية غرب مدينة مصراتة، منطقة الفلاجة، منطقة الحزام الأخضر شرق مدينة مصراتة، منطقة الفكارنة وسط مدينة مصراتة، منطقة الجزيرة شمال مدينة مصراتة.

4. التجارب المعملية ونتائج الاختبارات Experimental SET-UP and Equipment

أ. اختبار المحتوى المائي: الهدف من الاختبار تحديد المحتوى المائي لعينات التربة في المعمل باستخدام الفرن العادي، وبالتسخين عند درجة حرارة 110±5° درجة مئوية، وقد تم الاختبار تحت المواصفات ASTM D 2216 [1]، حيث يبين جدول (1) نتائج الاختبارات على عينات التربة. يتم حساب المحتوى المائي للتربة كنسبة مئوية بالمعادلة التالية:

$$W_C\% = \frac{(M_2 - M_3)}{(M_3 - M_1)} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

حيث:

M_1 كتلة العلبة المعدنية.

M_2 كتلة العلبة والعينة الرطبة.

M_3 كتلة العلبة والعينة الجافة.

M_w كتلة الماء بالعينة.

جدول1. نتائج إختبارات المحتوى المائي على عينات التربة.

موقع عينة التربة	المحتوى المائي للعينة
منطقة السكت	%12.89
منطقة الدفنية	%5.970
منطقة الحزام الاخضر	%3.852
منطقة الفلاجة	%9.439
منطقة الفكارنة	%10.618
منطقة الجزيرة	%1.123

ب. اختبار الوزن النوعي: الهدف من هذا الاختبار هو تحديد الوزن النوعي للأجزاء الصلبة من التربة، تم اجراء الاختبار تحت المواصفات ASTM D 854، AASHTO T-100، حيث تم اجراء الاختبارات في جامعة طرابلس في معمل التربة كما هوا موضح في الشّكل (1)[2]. يتم حساب الوزن النوعي للتربة بالمعادلات التالية:

$$M_{1t} = \frac{\rho_t}{\rho_0}(M_1 - M_P) + M_P$$

$$G_S = \frac{KM_s}{M_s + M_{1t} - M_{2t}}$$

حيث:

G_S الوزن النوعي.

M_{1t} كتلة الماء والدورق مقاسة عند درجة حرارة T.

M_{2t} كتلة الدورق والماء والعينة مقاسة عند درجة حرارة T.

K معامل تصحيح استخدم للأخذ في الاعتبار أخطاء كثافة الماء.

M_s كتلة المواد الصلبة.

ρ_t الكثافة النسبية للماء عند درجة حرارة T.
ρ_0 الكثافة النسبية للماء عند درجة حرارة T_0.
M_1 كتلة الدورق مملوء بالماء عند درجة حرارة T_0.
M_P كتلة الدورق.

الشّكل 1. الأدوات المستخدمة في الاختبار داخل معمل التربة جامعة

حيث يبين جدول (2) نتائج الاختبارات على عينات التربة.

جدول 2. نتائج إختبارت الوزن النوعي على عينات التربة.

موقع عينة التربة	الوزن النوعي للعينة G_S
منطقة السكت	2.627
منطقة الدفنية	2.651
منطقة الحزام الاخضر	2.6339
منطقة الفلاجة	2.673
منطقة الفكارنة	2.6549
منطقة الجزيرة	2.6548

ج. اختبار التحليل المنخلي: وتكمن أهمية معرفة التدرج الحبيبي للتربة في أنه المفتاح الأول والأساسي لتصنيف التربة، حيث يبين الشّكل (2) جهاز اختبار التحليل المنخلي وأشكال المناخل وتم اختبارها في معمل التربة الهندسة المدنية داخل جامعة طرابلس تحصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (3)[3] . يتم حساب نسبة المحجوز على كل منخل، ونسبة المحجوز التراكمي، ونسبة المار كالتالي:

$$\text{نسبة المحجوز على المنخل (\%)} = \frac{\text{كتلة التربة الجافة المحجوزة علي المنخل}}{\text{الكتلة الكلية للعينة}} \times 100$$

المحجوز التراكمي(%) = مجموع نسبة المحجوزة على المنخل مع النسب المحجوزة على المناخل الأعلى منه

نسبة المار (%) = 100- المحجوز التراكمي (%)

ترسم العلاقة بين حجم فتحة المنخل (حجم الحبيبات) والنسبة المئوية التراكمية المارة من كل منخل، بحيث تكون الأولى على محور أفقي لوغاريتمي والثانية على محور رأسي عادي.

و يتم حساب معامل الانتظام C_U كما يلي:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

ويتم حساب معامل التقعر C_C كما يلي:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

حيث :

D_{10} قطر الحبيبات المناظر لنسبة المار 10%.

D_{30} قطر الحبيبات المناظر لنسبة المار 30%.

D_{60} قطر الحبيبات المناظر لنسبة المار 60%.

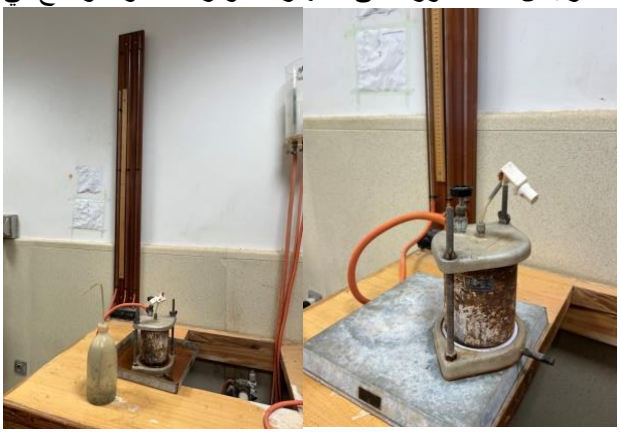
الشّكل 2. شكل جهاز اختبار التحليل المنخلي وأشكال المناخل.

جدول 3. خصائص المستنتجة من التحليل المنخلي لعينات التربة للمواقع المختارة داخل مدينة مصراتة.

Parameter						NO.
Cc	Cu	%Passing No.200 sieve	D60	D30	D10	
0.816061	4.784616	6.14	0.43614 mm	0.18012 mm	0.09116 mm	منطقة السكت
0.91217	3.36461	8.38	0.268711 mm	0.139912 mm	0.07986 mm	منطقة الدفنية
1.02008	2.87652	11.52	0.18687 mm	0.11128 mm	0.06496 mm	منطقة الحزام الأخضر
0.81784	3.95042	9.56	0.30157 mm	0.13722 mm	0.07634 mm	منطقة الفلاجة
0.85882	3.8052	9.6	0.29008 mm	0.13781 mm	0.07623 mm	منطقة الفكارنة
1.02008	2.87652	11.52	0.18687 mm	0.11128 mm	0.06494 mm	منطقة الجزيرة

د. اختبار نفاذية التربة: السهولة التي يمكن أن تتدفق بها المياه من خلال تربة تسمى النفاذية أو التوصيل الهيدروليكي وتختلف قيمة معامل النفاذية باختلاف نوع التربة، ويطلق على الأنواع المختلفة من الأجهزة المستخدمة في تعيين معامل

النفاذية للتربة مختبرياً بأجهزة قياس النفاذية (Permeameter). هناك نوعان منها جهاز النفاذية ثابت الجهد (Constant Head Permeameter) وجهاز الجهد المتغير (Falling head Permeameter)) فالجهاز الأول كما يدل اسمه يتم القياس فيه تحت إرتفاع ثابت ويستعمل للتربة الخشنة الحبيبات الرملية أو الزلطية (Coarse) grained soil والأقل تماسك (Cohesionless soil)، بينما يتم الفحص في الجهاز الثاني تحت ارتفاع متغير ويتعمل للتربة الناعمة الحبيبات الطين أو الطمي (Fine-grained soil) التربة المتماسكة (Cohesive soil). لعدم توفر جهاز اختبار النفاذية في مدينة مصراتة تم البحث عنه داخل مدينة مصراتة و في عدة مدن حتى الأخرى حتى تمكنا من ايجاده في معمل التربة في جامعة طرابلس لقسم الهندسة المدنية، بعد ذلك تم التنسيق ما بين جامعة طرابلس وجامعة مصراتة لتمكن من عمل الاختبارات المطلوبة لعيانات التربة داخل معمل الجامعة، ثم تم اختبار عينات التربة وذلك بعد أخذ العيانات من عدة مناطق داخل مصراتة و استجلابها الى مدينة طرابلس للعمل فورا على الجهاز المتوفر كما هوا موضح في الشّكل (3) [4].



الشّكل 3. جهاز اختبار النفاذية في معمل التربة جامعة طرابلس.

بتطبيق قانون دارسي نجد أن معامل النفاذية يعين كما يلي[5] Das, B.M. (2008) :

$$q_{in} = -a\frac{dh}{dt} \qquad , q_{out} = k\frac{h}{L}A$$

$$q_{in} = q_{out}$$

$$k\frac{A}{L}\int_{T_1}^{T_2} dt = a\int_{h_2}^{h_1}\frac{dh}{h}$$

$$\therefore k = \frac{aL}{A\Delta t}\ln\frac{h_1}{h_2} \qquad \text{or} \qquad k = \frac{2.303aL}{A\Delta t}\log\frac{h_1}{h_2}$$

L: طول العينة (Length of the fine soil)

t: الزمن (time)

A: مساحة العينة (cross-section area of burette or standpipe, cm^2)

a: مساحة مقطع أنبوب النفاذية (cross section area of soil sample, cm^2)

h_1: الضغاط البدائي (hydraulic head across sample at beginning of test ($t=t_2=0$)

h_2: الضاغط النهائي (hydraulic head across sample at end of test ($t=t_2$)

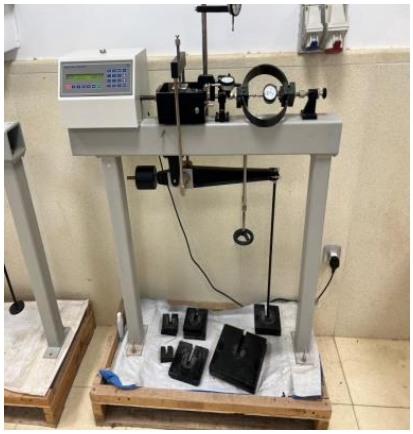
- نتائج اختبار النفاذية: كانت نتائج الاختبار كالتالي.

الجدول 4. نتائج لعينات التربة للمواقع المختارة داخل مدينة مصراتة لاختبار النفاذية.

NO.	Parameter					
	h_1	h_2	t_1	t_2	t_3	K_T
منطقة السكت	90	70	55.98 sec	55.34 sec	54.56 sec	0.001010574 cm/sec
منطقة الدفنية	90	60	16.30 sec	16.48 sec	16.78 sec	0.0009695 cm/sec
منطقة الحزام الأخضر	90	60	25.20 sec	25.20 sec	24.72 sec	0.0006515 cm/sec
منطقة الفلاجة	90	60	22.61 sec	22.79 sec	22.87 sec	0.000704 cm/sec
منطقة الفكارنة	90	60	56.54 sec	59.03 sec	58.71 sec	0.0002755 cm/sec
منطقة الجزيرة	90	70	39.83 sec	40.18 sec	41.24 sec	0.0002436 cm/sec

هـ. اختبار صندوق القص (القص المباشر): عندما تتعرض التربة للأحمال فإنها ستعمل على مقاومتها بحيث ستبدأ طبقات التربة بالتحرك الأفقي مما يولد قوى قص، و إذا زادت الأحمال عن حد معين قد تنهار التربة أسفل المنشآت مما يعرف بـ (Shear failure)، وتعتمد قيمة قوة القص التي تتحملها التربة على خصائص التربة من التماسك و الاحتكاك. اختبار القص المباشر هو الأكثر ملائمة للاختبارات في حالة تصريف المياه خصيصا على التربة الحبيبية مثل (الرمال) أو الطينية الثقيلة.

لذلك تهدف هذه التجربة إلى تحديد معاملات خاصة بالتربة لتحديد مدى تحملها للأحمال بواسطة جهاز القص المباشر المبين في الشّكل (4)[6] .



الشّكل 4. يبين صور توضح جهاز القص المباشر في معمل التربة لجامعة طرابلس.

يتم حساب النتائج المطلوبة من خلال المعادلات التالية:

حساب الإجهاد الرأسي بقسمة الوزن الرأسي على مساحة الصندوق.

$$\sigma_1 = \frac{P}{A}$$

$$P = W * g$$

حيث:

σ_1 :الإجهاد الرأسي على العينة (N/cm^2).

P : القوة العمودية على سطح العينة (N).

W :الوزن الرأسي (kg).
g :عجلة الجاذبية الأرضية ($9.81\ m/s^2$).
A :مساحة صندوق العينة ($36\ cm^2$).

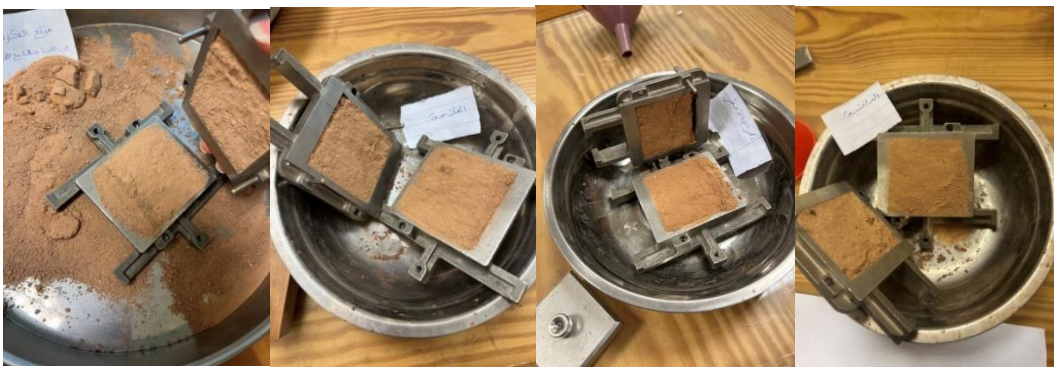
يتم حساب الإجهاد الأفقي (إجهاد القص) وذلك بأخذ قراءة حلقة القياس الأفقية، وهي القراءة القصوى التي يصل إليها المقياس ثم يبدأ بالتراجع.

$$\tau = \sigma_3 = (\ Guidge\ reading\ *\ factor\ of\ ring\ )\ /\ A$$

حيث:

σ_3: إجهاد القص للعينة (إجهاد الانهيار) (N/cm^2).
Guidge reading:قراءة عداد الحلقة الأفقية (div).
Factor of ring:معامل حلقة القياس الأفقية (2.13 N/div).
A : مساحة صندوق العينة ($36\ cm^2$).

- نتائج اختبار القص المباشر كما موضحة في جدول (5) تم دراسة مقاومة القص لعينات التربة من مناطق مختلفة في حالتها الطبيعية وكانت جميع العينات المستخدمة في الاختبار جافة (Wc=0%) وذلك لضمان ثبات المحتوى المائي. الشّكل (5) يوضح بعض الصور للعينات بعد حدوث اجهاد القص له.



الشّكل 5. صور لبعض عينات التربة بعد حدوث اجهاد القص.

جدول 5. إجهادات القص المقابلة للإجهادات الرأسية المسلطة للعينة الأولى(منطقة السكت)

Normal Stress (Kg/cm^2)				Shear Stress (Kg/cm^2)				الموقع
No.				No.				
4	3	2	1	4	3	2	1	
2.5	2	1.5	1	1.8395	1.5681	1.2304	0.7841	منطقة السكت
2.5	2	1.5	1	1.8636	1.6224	1.248	0.8142	منطقة الدفنية
2.5	2	1.5	1	1.9606	1.6224	1.2002	0.8142	منطقة الحزام الأخضر
2.5	2	1.5	1	2.0868	1.7491	1.3208	0.8685	منطقة الفلاجة
2.5	2	1.5	1	1.9963	1.5862	1.3148	0.8142	منطقة الفكارنة
2.5	2	1.5	1	2.11697	1.6707	1.3329	0.8866	منطقة الجزيرة

5. تحليل نتائج الاختبارات

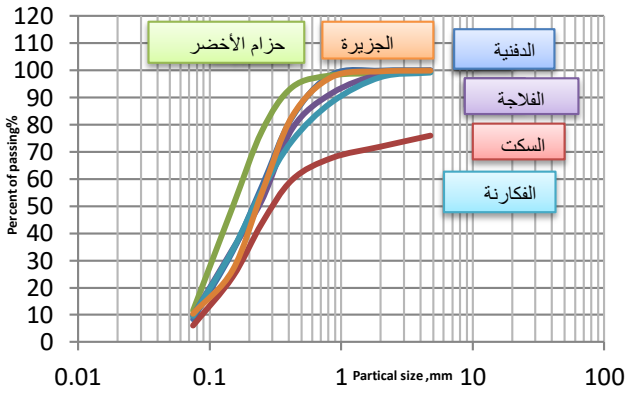
تعتبر النتائج التي تم الحصول عليها من اختبارات التربة جزءا حيويا من عملية تقييم خصائص الأرض وفهم سلوكها في مواجهة التحديات الهندسية المختلفة. سنقدم نظرة مختصرة على نتائج الأساسية للتربة، بما في ذلك تحليل المنخلي ومحتوى المائي والوزن النوعي، والتي تعكس خصائص التربة وتأثيرها على السلوك الهندسي، وأهم نتائج معامل النفاذية "k" وتأثيره وعلاقته مع مقاومة التربة للقص.

حيث بينت النتائج الموضحة في جدول (1) من خلال الاختبار ان نسبة المحتوى المائي لجميع العيانات التربة من منخفضة الى متوسطة، لاحظنا أنه المحتوى المائي منخفض جدا في منطقة الجزيرة على عكس منطقة السكت.
كذلك أظهرت النتائج من خلال اختبار الوزن النوعي جدول (2) على أنه العينات تصنف انها تربة رملية وتربة رملية طميه. يتم إعطاء النطاقات العامة لقيم GS للترب المختلفة في الجدول التالي (6):

جدول (6): الوزن النوعي حسب نوع التربة.

Soil Type	Range of G_S
Sand	2.63 – 2.67
Silts	2.65 – 2.7
Clay and Silty Clay	2.67 – 2.9
Organic Soil	Less than 2

يعُد تحليل التربة المنخلي جزءا مهما من دراسة خصائص التربة وتقييم قابليتها للاستخدام في المشاريع الهندسية. يتضح من النتائج المتحصل عليها موضحة في جدول (3) من خلال الاختبارات حسب ماهو موضح في الشّكل (6) أن جميع عينات التربة تم تصنيفها على أنها تربة رملية (SP) فقيرة التدرج حسب نظام تصنيف الموحد ورملية غير لدنة (A-3) حسب نظام تصنيف الأشتو.



الشّكل (6) : منحنى التحليل المنخلي لجميع عينات التربة.

يُعد فهم النفاذية وتقييمها ضروريا لتحقيق التصميمات الفعالة والمستدامة في المشاريع الهندسية، تم اختبار عينات التربة في ظروف جوية مختلفة واخدت من مناطق، كانت نتائج معامل النفاذية "k" الموضحة في جدول (4) للعينات متقاربة فمنها متوسطة النفاذية واخرى منخفضة النفاذية، حيث تبين انه قيم معامل النفاذية "k" هي على التوالي (0.00101, 0.00965 cm/sec) في منطقة السكت و منطقة الدفنية متوسطة النفاذية بينما قيم معامل النفاذية "k" هي على التوالي (0.0006515, 0.0002436 ,0.0002755 ,0.000704) لمنطقة الحزام الأخضر، الفلاجة، الفكارنة والمنطقة الجزيرة منخفضة النفاذية كما هوا موضح في الجدول (7).

الجدول 7. القيم النموذجية لمعاملات النفاذية وتصنيفها.

Degree	Permeability (k) (cm/sec)
High	Over 10^{-1}
Medium	10^{-1} to 10^{-3}
Low	10^{-3} to 10^{-5}
Very low	10^{-5} to 10^{-7}
Practically impermeable	Less than 10^{-7}

.

بناء على جدول خواص النفاذية والتصرف لأنواع التربة التي قدمه كل من كزاغراندي وفادوم (1948) [7] كما هوا مبين في الجدول (8)، أنه جميع العينات ذات تصريف جيد (Good Drainage) وكذلك يبن هذا الجدول ان عينة منطقة السكت تصنف انها تربة رملية (Clean Sands, clean sand and Gravel mixtures) بالإضافة الى وجود مخاليط من الحصى، أما باقي العينات يمكن القول أنها تصنف أنها رمال ناعمة جدا وبالإضافة الى مخاليط الطمي الرملي والطين very fine sands, organic and inorganic silts, mixtures of sand silt and clay, glacial till,) .(stratified clay deposits

الجدول 8. خواص النفاذية والتصرف لأنواع التربة[7]

Hydraulic Conductivity, *k*

- Typical Values

Coefficient of Permeability *k* in cm per sec (log scale)

	10^{0} 10^{1} 1.0 10^{-1} 10^{-2}	10^{-3} 10^{-4} 10^{-4}	10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9}
Drainage	Good	Poor	Practically Impervious
Soil types	Clean gravel; Clean sands, clean sand and gravel mixtures; "Impervious" soils modified by effects of vegetation and weathering	Very fine sands, organic and inorganic silts, mixtures of sand silt and clay, glacial till, stratified clay deposits, etc.	"Impervious" soils, e.g., homogeneous clays below zone of weathering
Direct determination of *k*	Direct testing of soil in its original position—pumping tests. Reliable if properly conducted. Considerable experience required		
	Constant-head permeameter. Little experience required		
Indirect determination of *k*	Falling-head permeameter. Reliable. Little experience required	Falling-head permeameter. Unreliable. Much experience required	Falling-head permeameter. Fairly reliable. Considerable experience necessary
	Computation from grain-size distribution. Applicable only to clean cohesionless sands and gravels		Computation based on results of consolidation tests. Reliable. Considerable experience required

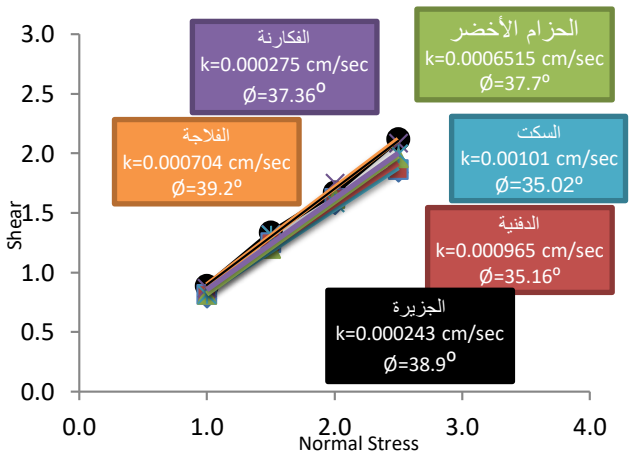
After A. Casagrande and R. E. Fadum

FIG. 2.9 Permeability and drainage characteristics of soils. (Table 6, p. 48, of *Soil Mechanics in Engineering Practice*, K. Terzaghi and R. B. Peck, Wiley, New York, 1948.)

23

نتائج اختبار القص المباشر للتربة تعتبر من أهم البيانات التي تمكننا من فهم سلوك التربة تحت تأثير القوى الميكانيكية، نلاحظ من خلال النتائج المتحصلة عليها من عينات التربة كما هو موضح في الشّكل (7) وجود علاقة معقدة نسبيا بين نفاذية التربة وقوى القص وتعتمد على عدة عوامل، حيث تبين من خلال المخطط في الشّكل (7) عندما تكون التربة نفاذة يمكن للماء أن يتدفق خلال الفجوات داخلها بسهولة هدا التدفق يمكن أن يؤثر على مقاومة التربة للقص، حيث أن الماء يمكن أن يقلل من الاحتكاك بين الجزيئات داخل التربة، مما يؤدي الى تقليل مقاومة التربة للقص.

إذا زاوية الاحتكاك القصية تعكس قدرة التربة على مقاومة القوى القصية تحديدا الاحتكاك بين الجزيئات أثناء التشوه القصي. قد تكون التربة ذات زاوية احتكاك قصية عالية تمتلك ترتيبا جيدا للحبيبات وبالتالي تقلل في تدفق الماء، مما يؤدي الى معامل نفاذية منخفض. من ناحية أخرى قد تكون التربة ذات زاوية احتكاك منخفضة تحتوي على حبيبات متنوعة الحجم وترتيب فوضوي مما يزيد من معامل النفاذية.



شكل 7. العلاقة بين الإجهاد الرأسي وإجهاد القص لجميع العينات

6. الاستنتاجات والتّوصيات

أ. الاستنتاجات Conclusion: النتائج المتحصّل عليها من هذه الدّراسة تتلخّص في الآتي:

- أتضح أن التربة ذات معامل النفاذية "k" منخفض تتميز بزاوية احتكاك داخلية "Ø" عالية مما تزيد من مقاومة التربة للقص، وهذا يعكس أنها تمتلك ترتيباً محكماً للحبيبات وبالتالي تقلل من تدفق المياه خلالها. من ناحية أخرى التربة ذات معامل النفاذية "k" مرتفع تكون زاوية الاحتكاك الداخلية "Ø" فيها منخفضة، مما يشير إلى ترتيب أقل إحكاما للحبيبات وزيادة في تدفق المياه مما يقلل من مقاومة التربة للقص.

- إذا كانت قيمة معامل النفاذية "k" عالي، فإن ذلك يعني أن التربة قادرة على استيعاب الماء بسرعة أكبر، مما يؤثر على ترسيب المواد حيث يؤدي امتصاص الماء إلى ضعف قوى الترابط بين جزيئات التربة وبالتالي يسبب تأثير سلبي على مقاومة التربة للقص وإلى تخفيض قوة التربة.
- تبين أن حركة الماء في التربة تتوقف على المحتوى الرطوبي، فعندما تكون التربة مشبعة (المسام ممتلئة تماما بالماء) تسمى الحركة في الحالة المشبعة Saturated Water Flow، وعندما يكون المحتوى الرطوبي للتربة دون التشبع تسمى الحركة في الحالة غير مشبعة Unsaturated Water Flow. هذا الاختلاف في المحتوى الرطوبي يؤثر على معامل النفاذية حيث يكون هذا المعامل ثابت مع الزمن في الحالة المشبعة ويتغير مع تغير المحتوى الرطوبي للتربة في الحالة غير المشبعة وتكون قيمته أقل من حالة التشبع.
- تبين أن التركيب الحبيبي للتربة ونوع التربة لها تأثير مباشر على درجة النفاذية للتربة. حيث يعتبر نوع التربة العامل الأبرز في تحديد درجة النفاذية. التربة الرملية، على سبيل المثال تمتاز بجسيماتها الكبيرة نسبيا وفراغاتها الواسعة، مما يمنحها قدرة عالية على السماح بمرور الماء بسرعة. أما التربة الطينية، فتتصف بجسيماتها الدقيقة وترابطها العالي، مما يجعلها ذات نفاذية منخفضة جدا حيث تعيق الجسيمات المتماسكة مرور الماء بسهولة.
- كذلك من أبرز العوامل التي تؤثر على دقة معامل النفاذية "k" هي لزوجة الماء، فقاعات الهواء الحبيسة الموجودة في عينة التربة، فقدان النواعم خلال التجربة ومطابقة الظروف الحقلية في المختبر.

القيم الفعلية لمعامل النفاذية في الحقل ممكن أن تتغير لحد ما عما ما هو مقاس في المختبر بسبب عدم تجانس التربة. لذلك يجب أخذ الحيطة عند تحديد قيمة "k" لكل الاعتبارات التصميمة .

ب. التّوصيات Recommendations

- اجراء الاختبارات لمناطق اخرى في مدينة مصراتة.
- اجراء اختبارات ميدانية وذلك بحساب معامل النفاذية "k" حقليا باستخدام طريقة آبار الاختبار.
- استخدام تقنيات تحسين النفاذية لتحسين مقاومة التربة للقص من خلال عدة طرق.
- دراسة كيفية تأثير الملوثات المختلفة على معامل النفاذية للتربة.
- استخدام مواد تعزز قوة المقاومة للقص في الأراضي ذات معاملات نفاذية عالية.
- دراسة قيم معامل النفاذية "k" لبعض المناطق داخل مدينة مصراتة قبل وبعد ازالة الكثبان الرملية من المنطقة.
- دراسة وتقييم مدى تأثير تغير دراجات الحرارة على قيم معامل النفاذية "k".
- دراسة مدى تأثير الشفط (Suction) على قيم معامل النفاذية "k".
- تقييم تأثير التلوث الكيميائي على معامل النفاذية للتربة في المناطق الصناعية.
- دراسة مقارنة لنفاذية التربة تحت تأثير الأنشطة البشرية مثل البناء والتعدين.
- دراسة تأثير النفاذية على استقرار السدود الأرضية والحواجز في مشاريع البنية التحتية.

7. المراجع References

1. ASTM D2216 – 10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
2. ASTM D854 – 14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
3. ASTM D422 – 63(1998), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
4. ."ASTM D2434–68(2006), "Standard Test Method for permeability of Granular Soils
5. Das, B.M. (2008). Advanced Soil Mechanics – third edition.
6. ASTM D3080 / D3080M – 11, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
7. Soil Mechanics in Engineering Practice, K. Terzghi and R. B. Peck, Wily, New York, 1948.