التجارب المعملية والحقلية في ميكانيكا التربة

د. عبدالخالق سلوم مهدي
ايناس عبدالنبي عمر

منشورات جامعة عمر المختار 2022

التجارب المعملية والحقلية في

ميكانيكا التربة

د. عبد الخالق سلوم مهدي

د. إيناس عبد النبي عمر

منشورات جامعة عمر المختار

2022

اسم الكتاب: التجارب المعملية والحقلية في ميكانيكا التربة
اسم المؤلف: د. عبد الخالق سلوم مهدي، د. إيناس عبد النبي عمر
رقم الإيداع: 2022/105م.

دار الكتب الوطنية بنغازي – ليبيا

© 2022 المؤلف

هذا كتاب يخضع لسياسة الوصول المفتوح (المجاني) ويتم توزيعه بموجب شروط ترخيص إسناد المشاع الإبداعي (CC BY-NC-ND 4.0)، والذي يسمح بالنسخ وإعادة التوزيع للأغراض غير التجارية دون أي اشتقاق، بشرط الاستشهاد بالمؤلف وبجامعة عمر المختار كناشر أصلي.

منشورات
جامعة عمر المختار
البيضاء

الترقيم الدولي
ISBN 978-9959-79-117-7 ردمك

بسم الله الرحمن الرحيم

الإهداء

إلى الأرواح الطاهرة التي رحلت عن دنيانا ملاقية ربها نحسن الختام . . .

إلى الذين ضحوا من أجلي . . .

إلى من هم أغلى من قلبي وروحي . . .

إلى أهل الوفاء . . .

المحتويات

التسلسل	الموضـــــوع	رقم الصفحة
1	المقدمة	1
2	تجربة رقم 1: أخذ عينات حقلية	3
3	تجربة رقم 2: التحليل الحبيبي للتربة خشنة الحبيبات	9
4	تجربة رقم 3: التحليل الحبيبي للتربة ناعمة الحبيبات	21
5	تجربة رقم 4: المحتوى المائي	35
6	تجربة رقم 5: الوزن النوعي	43
7	تجربة رقم 6: الكثافة الظاهرية	53
8	تجربة رقم 7: حدود القوام	61
9	تجربة رقم 8: الدمك المعملي	75
10	تجربة رقم 9: الكثافة الحقلية بطريقة الإحلال الرملي	89
11	تجربة رقم 10: الكثافة الحقلية بطريقة القاطع الأسطواني	99
12	تجربة رقم 11: الكثافة النسبية	107
13	تجربة رقم 12: نفاذية التربة بطريقة الضغط الثابت.....	117
14	تجربة رقم 13: نفاذية التربة بطريقة الضغط المتغير.....	127
15	تجربة رقم 14: انضمام التربة: الجزء الأول.....	137
16	تجربة رقم 15: انضمام التربة: الجزء الثاني.....	151

التسلسل	الموضـــــوع	رقم الصفحة
17	تجربة رقم 16: صندوق القص المباشر.....	161
18	تجربة رقم 17: الضغط غير المحصور.....	175
19	تجربة رقم 18: الضغط ثلاثي المحاور.....	189
20	تجربة رقم 19: مروحة القص.....	205
21	تجربة رقم 20: اختراق المخروط.....	215
22	ملحق 1: العلاقات الأساسية للتربة.....	225
23	ملحق 2: أوراق بيانات التجارب.....	253

المقدمة

إن دراسة ميكانيكا التربة أخذت مجالاً واسعاً في العالم منذ بداية القرن الماضي وأقرت لطلبة الدراسات الجامعية الأولية في مجال الهندسة المدنية والأعمال الفنية المتعلقة بهذا المجال حيث تشمل عادةً هذه الدراسة الجانب النظري إضافة إلى الجانب الحقلي والمعملي الذي يتعلق بإجراء التجارب اللازمة لفهم الخواص الأساسية للتربة وسلوكياتها في الإجهاد والانفعال.

إن هذا الكتاب يتطرق إلى التجارب الخاصة بميكانيكا التربة في الوقت الحاضر والمطلوبة ضمن الدراسة الأكاديمية في مجال الهندسة المدنية حيث تم بشكل أساسي اعتماد المواصفات العالمية ASTM و AASHTO وكذلك استخدم النظام العالمي للوحدات SI units في أغلب التطبيقات لهذه التجارب، وتضمنت كل تجربة عرض المصادر والمواصفات المعتمدة والأدوات المستخدمة وكذلك شرح النظرية ذات العلاقة والخطوات الكاملة لإجراء التجربة معززة بالصور والرسوم التوضيحية ثم تفاصيل الحسابات وعرض نتائجها وما يتعلق بها من جداول ومخططات بيانية وأخيراً الملاحظات العامة التي تتعلق بالتجربة.

والله ولي التوفيق

تجربة رقم 1

أخذ عينات حقلية

Field Collection of Soil Sample

1.1 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T86 – 70.

2- ASTM D420 – 69.

3- Bowles, J. E., 1996. Foundation analysis and design, 5th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.

2.1 الغرض من التجربة Purpose

1- التعرف على طريقة الحصول على نماذج تربة حقلية مخلخلة.

2- الحصول على معلومات أولية لطبيعة قطاع التربة الحقلية ورسم هذا القطاع.

3- اخذ نماذج تربة حقلية من أجل إجراء التجارب اللاحقة.

4- التعرف على تغيير المحتوى المائي للتربة مع العمق.

3.1 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (1–1) وهي كما يلي:

1– آلة لولبية للحفر اليدوي الدواري.

2– أنابيب توصيل إضافية للآلة تكفي لعمق لا يقل عن 6 متر مع مفتاح ربط.

3- علب نماذج وأدوات حفر وعلب رطوبة.

4- أدوات استخلاص وتحضير النماذج موضحة في الشكل (1-2).

5- شريط قياس لتحديد العمق بطول 30 متر.

4.1 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن الطرق المعتمدة في هذه التجربة تستخدم للأعماق التي تصل إلى عدة أمتار من أجل الحصول على نماذج تربة حقلية تساعد في التعرف على طبقات تربة الموقع وكذلك التغيير في هذه الطبقات عند حفر اكثر من نقطة إضافة إلى تخمين المحتوى المائي لكل طبقة حيث سيتم شرحه لاحقاً في التجربة رقم 4.

5.1 طريقة العمل Procedure

أ) أسلوب الحفر الدواري

1- يتم تحديد نقاط الحفر في موقع المشروع ويعتمد عدد هذه النقاط على نوع وأهمية وحجم المشروع.

2- توضع آلة الحفر اللولبية على سطح التربة وتدار يدوياً للنزول في العمق حيث يصل إلى اكثر من 6 متر ويتم أخذ نماذج عند ملاحظة أي تغيير في طبقات التربة الناتجة أثناء عملية الحفر لتوضع في علب النماذج وتسجيل أعماق هذه التغييرات للتمكن من رسم المخطط الجانبي لهذه الحفر.

3- تؤخذ عينتان في علب الرطوبة من كل طبقة تربة من أجل تخمين المحتوى المائي.

ب) أسلوب الحفر المفتوح

1- يتم عمل حفرة ذات مساحة مربعة بحدود 2×2 متر عن طريق استخدام أدوات حفر مناسبة للوصول إلى العمق المحدد الذي لا يتجاوز 5 متر.

2- تسجل الأعماق المختلقة لطبقات التربة على جوانب الحفرة للتمكن من رسم المخطط الجانبي لها.

3- تؤخذ عينة تربة من كل طبقة لتوضع في علب النماذج ابتداء من الطبقة السفلى وانتهاء بالطبقة العليا كما تؤخذ عينتان في علب الرطوبة من كل طبقة تربة لغرض تخمين المحتوى المائي.

إن علب النماذج الحاوية على التربة يستوجب تغطيتها بإحكام وترقيمها حسب عائديتها لطبقات التربة ثم توضع في المعمل من أجل إجراء التجارب اللاحقة.

الشكل (1-1): أدوات تجربة اخذ عينات حقلية

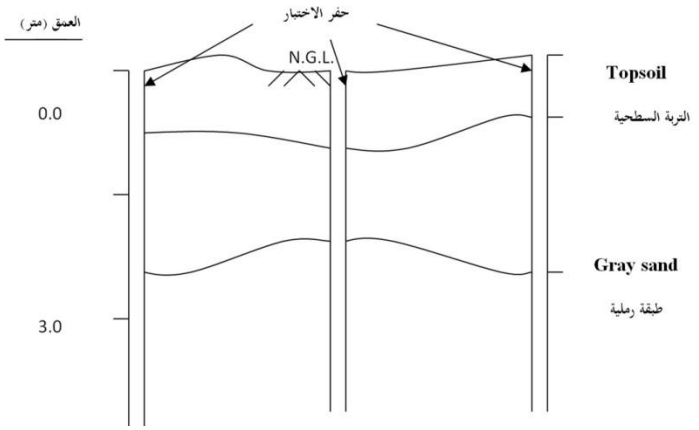
6.1 الحسابات والنتائج Calculation and Results

رسم المخطط الجانبي لطبقات تربة الموقع ابتداء من مستوى سطح الأرض الطبيعية ولغاية قاع الحفرة مع وصف أولي لكل طبقة (الشكل 1-3).

7.1 ملاحظات عامة General Notes

تسجيل أية ملاحظات أخرى حول طبيعة التربة والموقع والمشاريع الزراعية والإروائية ومصادر المياه المجاورة إن وجدت وأي مشاريع أخرى مجاورة أو قريبة من الموقع وكذلك طبيعة الجو وظروف المناخ وأية ملاحظات أخرى.

الشكل (1-2): أدوات استخلاص وتحضير النماذج



الشكل (1–3): مخطط جانبي لطبقات تربة الموقع

تجربة رقم 2

التحليل الحبيبي للتربة خشنة الحبيبات

Particle Analysis for Coarse Soil

1.2 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T87-70 (Sample Preparation).

2- AASHTO T88-70 (Test Procedures).

3- ASTM D 421-58 and D422-63.

4- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.2 الغرض من التجربة Purpose

تستخدم في هذه التجربة مجموعة مناخل بفتحات قياسية لغرض تعيين تدرج مقاس حبيبات التربة الخشنة حتى مقاس الرمل الناعم وتحديد النسب المئوية لها ثم رسم منحنى التدرج الحبيبي للتربة، وكذلك يمكن معرفة مجموع المكونات الطينية والغرينية التي تحويها التربة .

3.2 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (2–1) وهي كما يلي:

1– مجموعة مناخل ذات فتحات وأرقام قياسية (الجدول 2–1) مع فرش سلك خاصة بها.

2– ميزان حساس تبلغ دقته 0.1 جرام.

3– فرن كهربائي يمكن تنظيمه على درجة حرارية بين 105 – 110 م°.

4– هزاز كهربائي أو ميكانيكي خاص لمجموعة المناخل.

5– مقسم نماذج تربة.

4.2 النظرية والتعريف Theory and definition

يستعمل التحليل المنخلي للتربة لغرض تحديد النسب المئوية الوزنية للحبيبات المختلفة الأحجام التي تحويها التربة، عندما تحجز حبيبات التربة على منخل معين فان هذا يعنى أن جميع هذه الحبيبات اكبر من فتحة المنخل والأقل هي التي عبرت منه، أن جميع المواصفات العالمية تعتمد على فتحة المنخل قياس 0.075 ملميتر، لتحديد الحبيبات الناعمة والخشنة من التربة، يتم رسم العلاقة البيانية بين قياس الحبيبة على المحور الأفقي بمقياس لوغاريتمي والنسبة المئوية العابرة على المحور العمودي بمقياس اعتيادي حيث تمثل هذه العلاقة منحنى التدرج الحبيبي للتربة الذي يتخذ مختلف الأشكال معتمداً ذلك على نوع التربة (الشكل2-2).

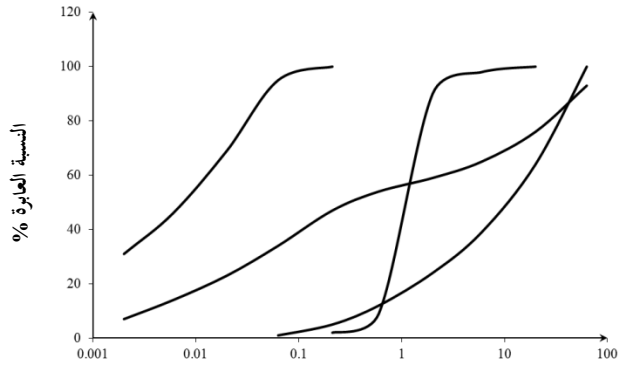
يستخدم منحنى التدرج الحبيبي لاستخراج الأقطار D_{10} ،D_{30} ،D_{60} الموافقة للنسب المئوية العابرة 10% ، 30% ، 60% على التوالي ثم حساب معامل الانتظام C_u ومعامل التحدب C_c من أجل تصنيف وتسمية التربة وكما يلي:

$$C_u = D_{60} / D_{10} \ , \ C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$$

الشكل (2–1): أدوات التحليل الحبيبي للتربة الخشنة

الجدول (2–1): مقاسات وفتحات المناخل القياسية

النظام العالمي S. I.: 460 - 1962		النظام البريطاني BS.: 410 - 1962		النظام الأمريكي ASTM: 1961	
المقاس	الفتحة (ملميتر)	المقاس	الفتحة (ملميتر)	المقاس	الفتحة (ملميتر)
50	50	2	50.8	2	50.8
40	40	2\3	37.5	2\3	37.5
20	20	4\3	19.05	4\3	19.0
10	10	8\3	9.52	8\3	9.5
4.75	4.75	16\3	4.76	رقم 4	4.75
2.36	2.36	رقم 7	2.41	رقم 8	2.36
1.18	1.18	رقم 14	1.2	رقم 16	1.18
600	0.6	رقم 25	0.6	رقم 30	0.6
425	0.425	رقم 36	0.42	رقم 40	0.425
300	0.3	رقم 52	0.3	رقم 50	0.3
212	0.212	رقم 72	0.21	رقم 70	0.212
150	0.15	رقم 100	0.15	رقم 100	0.15
75	0.075	رقم 200	0.076	رقم 200	0.075
63	0.063	رقم 240	0.066	رقم 230	0.063



شكل(2-2) اختلاف منحنى التدرج الحبيبي حسب نوع التربة

5.2 طريقة العمل Procedure

1- تؤخذ عينة بين 500 – 1000 جرام من التربة السابق تجفيفها في الفرن والتي تم تحضيرها طبقاً للتجربة رقم (1) وتوزن لأقرب (0.1 جرام) من وزنها الكلي.

2- تغسل عينة التربة بالماء على المنخل رقم 200 حيث تمر جميع الحبيبات الناعمة الأصغر من هذا القياس (الشكل 2-3) ثم يوضع كل ما تبقى في إناء بوزن معروف مسبقا وتجفف بالفرن بدرجة حرارة بين 105 –110 م^0 لمدة 24 ساعة.

3- يمكن تجاوز عملية الغسل عندما تكون الحبيبات الناعمة قليلة والحبيبات الخشنة واضحة.

4- يتم تهيئة مجموعة مناخل ذات فتحات قياسية تتناسب مع حجم حبيبات عينة التربة ثم توزن العينة المجففة وتوضع على المنخل العلوي حيث تكون مجموعة المناخل مرتبة من المقاس الأكبر للفتحات إلى المقاس الأصغر ليكون إناء الاستلام أسفلها (الشكل 2-4).

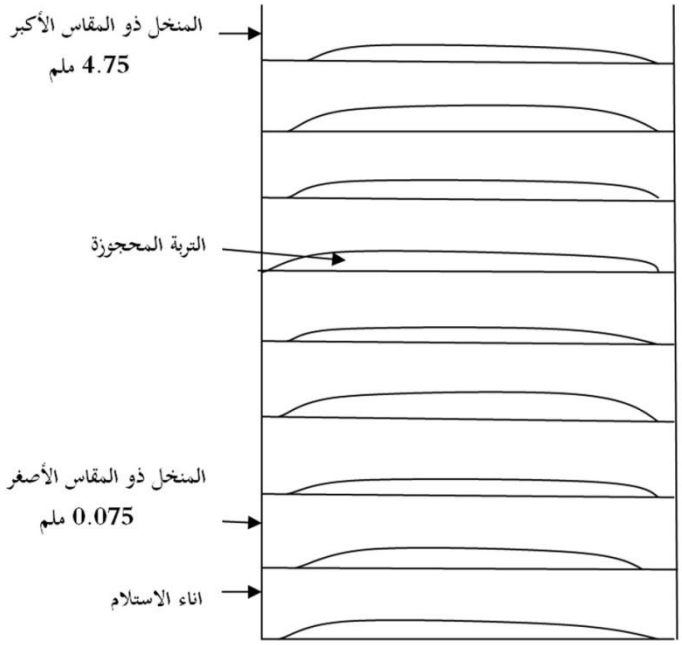
5- توضع مجموعة المناخل على الهزاز الكهربائي حوالى 10 دقائق حيث تمر الحبيبات التي

بحجم أصغر من الفتحة وتحجز الحبيبات التي بحجم أكبر من الفتحة (الشكل 2-5).

6- ترفع مجموعة المناخل ثم يوزن كل ما هو محجوز على كل منخل ويقارن مجموع الأوزان مع وزن العينة، فاذا كان الفرق أكثر من 2% يستوجب إعادة التجربة.

الشكل (2-3): غسل عينة التربة على المنخل رقم 200

الشكل (2-4): مجموعة المناخل بإناء الاستلام أسفلها والغطاء في الأعلى



الشكل (2-5): التربة المحجوزة على مجموعة المناخل

6.2 الحسابات والنتائج Calculation and Results

الجدول (2–2) يوضح القراءات التي تم الحصول عليها من التجربة ونتائج الحسابات حيث تفاصيلها للمنخل مقاس (10) كما يلي:

1- بعد أن يتم الحصول على نتائج التجربة المبينة في العمودين (2) و(3) من الجدول (2-2) يتم حساب المحجوز المتراكم على كل منخل في العمود (4).

0 + 40.2 = 40.2 جرام.

40.2 + 84.6 = 124.8 جرام.

2- نسبة التراكمي المحجوز = (الوزن التراكمي على كل منخل\الوزن الكلي) × 100

(عمود 5).

نسبة التراكمي المحجوز = (40.2 / 498.3) 100x = 8.0 %

3- تحسب نسبة المار وذلك بطرح نسبة التراكمي المحجوز من 100 (عمود 6)

نسبة المار = 100 – نسبة التراكمي المحجوز

نسبة المار= 100 – 8.0 = 92.0 %

يمكن تسجيل النتائج في الجدول (2-2) الذى يوضح نسبة المار بالوزن حيث تعبر عن النسبة المئوية العابرة لكل منخل قياسي الذي يمثل قياس الحبيبة.

الجدول (2-2): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: تربة رملية Sandy Soil رقم العينة: 1

وزن العينة المجففة بالفرن W : 500 جرام

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

عمود (1) مقاس المنخل	عمود (2) فتحة المنخل (ملميتر)	عمود (3) وزن التربة المحجوزة (جرام)	عمود (4) الوزن التراكمي للتربة المحجوزة (جرام)	عمود (5) نسبة التراكمي للمحجوز (%)	عمود (6) نسبة المار (%)
4	4.75	0	0	0	100
10	2.00	40.2	40.2	8.0	92
20	0.85	84.6	124.8	24.9	75.1
30	0.60	50.2	175	34.9	65.1
40	0.425	40.0	215	42.9	57.1
60	0.250	106.4	321.4	64.2	35.8
140	0.106	108.8	430.2	86.0	14.0
200	0.075	59.4	489.6	97.9	2.1
إناء الاستلام	-	8.7	498.3		
المجموع		498.3			

5- ترسم العلاقة بين النسبة المئوية العابرة ومقاس الحبيبة على مخطط نصف لوغاريتمي كما مبين في الشكل (2-6) حيث يمثل منحنى التدرج الحبيبي للتربة.

6- يتم الحصول على الأقطار الموافقة للنسب المئوية المارة من منحنى التدرج وهي كما يلي:

$$D_{60} = 0.46mm، D_{30} = 0.21mm ، D_{10} = 0.095\ mm$$

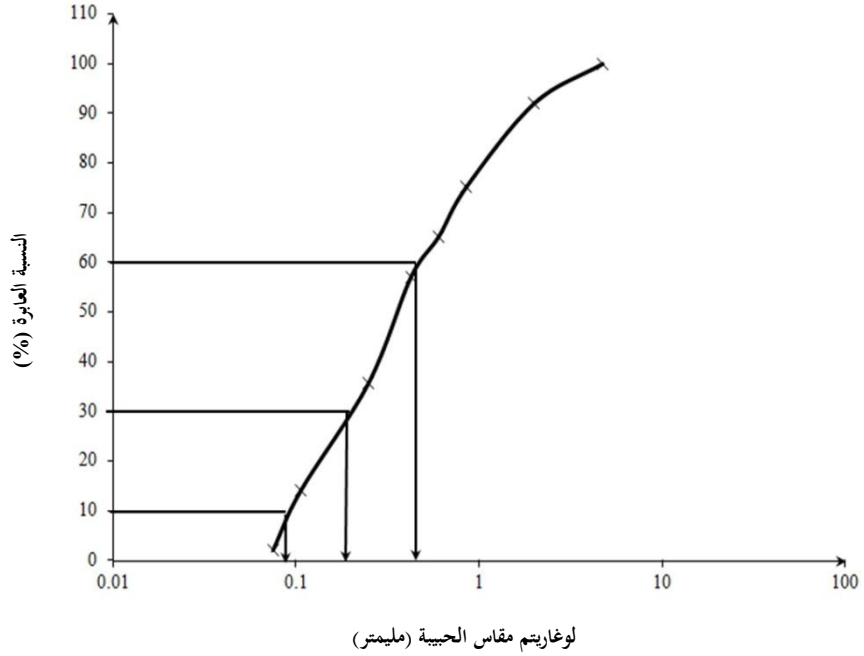
7- حساب معاملي الانتظام والتحدب C_u و C_c التي تستخدم في تصنيف وتسمية التربة وفق ما يلي:

$$C_u = D_{60} / D_{10} = 0.46 / 0.095 = 4.84$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) = (0.21)^2 / (0.095 \times 0.46) = 1.01$$

7.2 ملاحظات عامة General Notes

عندما تكون نسبة المار من منخل رقم 200 اقل من 10% يتم حساب Cu و Cc، أما اذا كانت هذه النسبة اكبر من 10% فيستوجب إجراء تجربة الترسيب بآلة المكثاف (تجربة رقم 3).



الشكل (2 - 6): منحنى التدرج الحبيبي لعينة التربة

تجربة رقم 3

التحليل الحبيبي للتربة ناعمة الحبيبات

Particle Analysis for Fine soil

1.3 المصادر والمواصفات References and Specifications

1- AASHTO T87-70 and T 88-70.

2- ASTM D421-58 and D422-63.

3- BS 1377: 1975 .Test 7 (D).

4- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

5- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.3 الغرض من التجربة Purpose

إجراء عملية التحليل الحبيبي للتربة الناعمة الحاوية على نسبة لا تقل عن 90 % للحبيبات العابرة من غربال قياس 0.075 ملم، بطريقة الترسيب ثم رسم منحنى التدرج الحبيبي لهذه التربة.

3.3 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (3-1) وهي كما يلي:

1) آلة المكثاف القياسية Hydrometer 152 H.

2) أسطوانة زجاجية مدرجة قياس 1000 مللتر مع غطاء مطاطي خاص / عدد 2.

3) آلة خلط لتشتيت محلول التربة مع دورق زجاجي وقطارة ماء.

4) محرار سوائل بتدريج 100 م^0.

5) ميزان بدقة 0.01 جرام.

6) ساعة توقيت بدقة 1 ثانية.

7) حمام مائي زجاجي.

4.3 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن هذه التجربة تجري على محلول التربة الناعمة حيث يتم تحضير هذا المحلول بإذابة كمية محددة من التربة في حجم قياسي من الماء المقطر ، بمرور الفترة الزمنية تبدأ حبيبات التربة بالترسيب اعتماداً على قانون ستوك الذي ينص على أن سرعة ترسيب الحبيبة (v) في محلول التربة تتناسب طردياً مع مربع قطرها (D)، أن كثافة الحبيبات الصلبة للتربة (γ_s) وكثافة الماء (γ_w) واللزوجة المطلقة للماء المقطر (μ) تدخل في حساب عامل اللزوجة (K) وهو يمثل ثابت العلاقة:

$$v = D^2/K^2 \rightarrow D = K\sqrt{v}$$
$$K^2 = 30\mu/(\gamma_s - \gamma_w)$$

حيث تكون سرعة ترسيب الحبيبة بوحدة (سنتميتر/دقيقة) وقطر الحبيبة بوحدة (ملميتر).

عندما تكون سرعة ترسيب الحبيبة بوحدة (سنتميتر/ثانية) وقطر الحبيبة بوحدة (سنتميتر) فإن:

$$K^2 = 18\mu/(\gamma_s - \gamma_w)$$

علماً أن لزوجة الماء المقطر بوحدة (جرام. ثانية/سنتميتر^2) و كل من كثافة الحبيبات الصلبة للتربة وكثافة الماء المقطر بوحدة (جرام/سنتميتر^3).

إن قانون ستوك يكون صالحاً للتطبيق عندما يكون قطر حبيبات التربة ضمن الحدود التالية:

$$0.0002 \text{ ملميتر} \leq D \text{ ملميتر} \leq 0.2$$

الشكل (3–1): معدات وأدوات تجربة التحليل الحبيبي للتربة الناعمة

5.3 طريقة العمل Procedure

تستعمل الطريقة أدناه للتربة الناعمة الحاوية على نسبة لا تقل عن 90 % للحبيبات العابرة من غربال قياس 0.075 ملميتر:

1- تحضر عينة جافة فرنياً وزنها 50 جرام تماماً من هذه التربة وتخلط مع 125 مللتر من محلول مشتت (مثل محلول أوكزيليت الصوديوم NaPO3) بتركيز 4 % حيث يمكن تحضيره بإذابة 40 جرام من هذه المادة الجافة في 1000 مللتر من الماء المقطر.

2- يترك محلول التربة الناتج لمدة ساعة واحدة (يقترح في مواصفات ASTM ترك المحلول لمدة 16 ساعة عندما تكون التربة طينية تماماً)، بعدها يتم نقل المحلول إلى آلة الخلط مع إضافة الماء المقطر للوصول إلى حجم المحلول بحدود 800 مللتر ثم إجراء عملية الخلط لمدة 3 إلى 10 دقائق.

3- يتم نقل محلول التربة إلى أسطوانة الترسيب المدرجة دون ترك أي حبيبات تربة وذلك

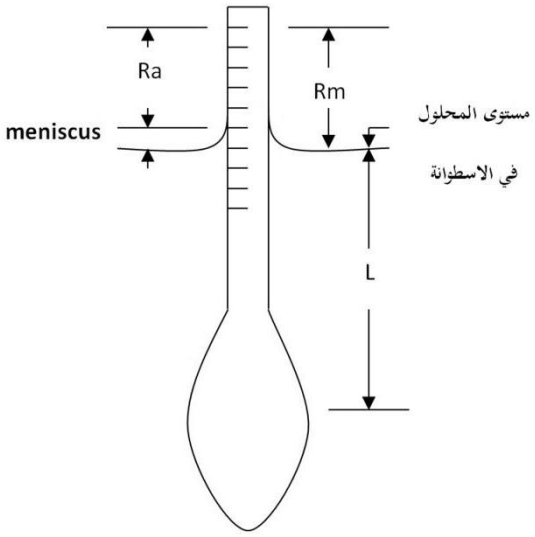
بمساعدة ماء القطارة لحين إكمال حجم المحلول لغاية 1000 مللتر.

4- تغلق أسطوانة المحلول بواسطة غطاء مطاطي خاص وتوضع في الحمام المائي بدرجة حرارية ثابتة لمدة ساعة واحدة على أن يكون مستوى ماء الحمام بمستوى المحلول في الأسطوانة المدرجة، كما ويتم تحضير 1000 مللتر من المحلول المشتت في الأسطوانة المدرجة الأخرى وبنفس النسبة الموضحة في خطوة (1) ثم توضع في الحمام المائي أيضاً بجوار أسطوانة محلول التربة من أجل قياس قراءة التصحيح الصفري وقراءة تصحيح التقعر.

5- بعد توازن درجة الحرارة بين محلول التربة في الأسطوانة والحمام المائي تحرك أسطوانة المحلول اهتزازياً وهي داخل الحمام مع ملاحظة عدم بقاء حبيبات تربة في قعرها ثم يرفع الغطاء المطاطي وتترك الأسطوانة مع محتوياتها داخل الحمام وفي نفس الوقت يتم تشغيل ساعة التوقيت الذي يعتبر التوقيت الصفري مع وضع آلة المكثاف في المحلول باعتناء حيث يكون عائماً.

6- إن عملية ترسيب حبيبات التربة تبدأ من التوقيت الصفري حيث يتم تسجيل القراءات الحقيقية Ra للمكثاف للأوقات 1، 2، 4 دقيقة (الشكل 3-2)، تعاد هذه العملية من الخطوة (5) لحين أن تكون مجموعة هذه القراءات بفرق لا يتجاوز تدريجه واحدة لمجموعة القراءات التي تم تسجيلها.

7- تستمر عملية قراءة المكثاف للزمن التراكمي ابتداءً من التوقيت الصفري 1، 2، 4، 8 ... 60 دقيقة، 2، 4، 8، 16 ساعة ويمكن أن تستمر العملية لمدة 96 ساعة مع تسجيل درجات حرارة المحلول لكل قراءة.



الشكل (3–2): قراءة المكثاف

6.3 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (3–1) والذي يوضح القراءات التي تم الحصول من التجربة ونتائج الحسابات التي تفاصيلها كما يلي:

1– يتم تحديد تاريخ وأوقات تسجيل القراءات (عمود 1 وعمود 2) وكذلك الزمن التراكمي للقراءات (عمود 3)، وتبدأ عملية تسجيل القراءة الحقيقية Ra للمكثاف (عمود 5) وفي نفس الوقت يتم تسجيل درجة حرارة المحلول (عمود 4).

2– لحساب القراءة المصححة Rc للمكثاف (عمود 6) تطبق العلاقة التالية:

$$Rc = Ra - Co + CT$$

حيث أن Co يمثل التصحيح الصفري = +3.0 و CT = +0.4 وهو يمثل عامل

التصحيح الحراري عند درجة حرارة المحلول 22 م^0 (الجدول 3–2) للزمن التراكمي 1 دقيقة حيث أن:

القراءة الحقيقية للمكثاف Ra = 49 ، عليه تكون القراءة المصححة Rc هي:

$$Rc = 49 - 3 + 0.4 = 46.4$$

3– إن النسبة المئوية العابرة (% finer) المسجلة في العمود 7 يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\% \text{ finer} = (Rc \times a)\ 100/ws$$

حيث أن ws = 50 جراماً يمثل وزن الحبيبات الصلبة للعينة وعامل التصحيح a = 0.99 يعتمد على الوزن النوعي للتربة G = 2.72 (الجدول 3–3) ، عليه فأن النسبة المئوية العابرة:

$$\% \text{ finer} = (46.4 \times 0.99)100/50 = 91.9\ \%$$

4– يتم حساب قراءة المكثاف Rm مصححة للتقعر فقط (عمود 8) وفق ما يلي:

$$Rm = Ra + \text{Meniscus correction}$$

وأن تصحيح التقعر Meniscus correction = +1.0 فتكون القراءة Rm للزمن التراكمي 1 دقيقة هي:

$$Rm = 49 + 1 = 50$$

5– من الجدول (3–5) واعتماداً على القراءة Rm = 50 يمكن استخراج الارتفاع الفعالL لترسيب الحبيبة (عمود 9) حيث يساوي 8.1 سنتميتر، ويمكن حساب السرعة v لترسيب الحبيبات العابرة (عمود 10) كما يلي:

$$v = L/t = 8.1/1 = 8.1 \text{ cm/min}$$

الجدول (3–1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: طين غريني Silty Clay　　الوزن النوعي G: 2.72

وزن العينة: 50 جرام　　رقم العينة: 1

رقم آلة المكثاف: Hydrometer 152 H　　التصحيح الصفري Zero correction: +3.0

تصحيح التقعر Meniscus correction: +1.0　　المادة المشتتة: اوكزليت الصوديوم NaPo3

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
التاريخ	**وقت القراءة**	**الزمن التراكمي** (دقيقة)	**درجة الحرارة** ($م^0$)	**القراءة الحقيقية (Ra)**	**القراءة المصححة (Rc)**	**النسبة العابرة** (%)	**القراءة مصححة للتقعر (Rm)**	**L** (سنتميتر)	**L/t** (ملليتر/دقيقة)	**k**	**D** (ملميتر)
3 - 4	15:30	1	22	49	46.4	91.9	50	8.1	8.1	0.0131	0.037
		2	22	47	44.4	87.7	48	8.4	4.2	0.0131	0.027
		4	22	42	39.4	78.0	43	9.2	2.3	0.0131	0.020
		8	22	37	34.4	68.1	38	10.1	1.26	0.0131	0.015
		16	22	31	28.4	56.2	32	11.1	0.69	0.0131	0.011
		30	22	26	23.4	46.3	27	11.9	0.397	0.0131	0.0082
	16:30	60	22	24	21.4	42.4	25	12.2	0.203	0.0131	0.0059
	17:35	125	22	21	18.4	36.4	22	12.7	0.102	0.0131	0.0042
	21:00	330	23	18	15.7	31.1	19	13.2	0.040	0.0129	0.0026
3 - 5	8:00	990	23	16	13.7	27.1	17	13.5	0.014	0.0129	0.0015
	15:00	1410	24	14	12.0	23.8	15	13.8	0.0098	0.0127	0.0013
3 - 6	15:00	2850	24	10	08.0	15.8	11	14.5	0.0051	0.0127	0.0009

6- يتم تحديد مقدار عامل اللزوجة K (عمود 11) من الجدول (3-4) اعتمادا عل مقدار الوزن النوعي G للتربة ودرجة حرارة المحلول حيث أن K يساوي بصورة تقريبية 0.0131، ولحساب القطر D (عمود 12) للحبيبات المترسبة بالسرعة v المحسوبة في الخطوة السابقة يتم تطبيق العلاقة التالية:

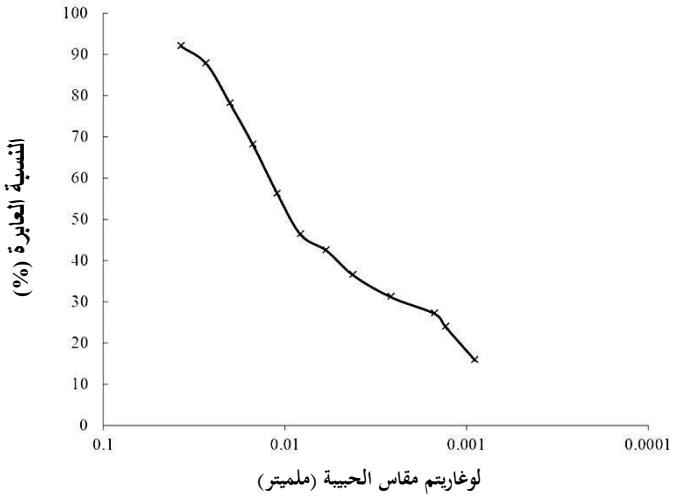
$$D = K \sqrt{v} = K \sqrt{L/t}$$

وعليه فإن القطر D للحبيبات المترسبة بنسبة 91.9 % هي:

$$D = 0.031\sqrt{8.1} = 0.037 \text{ mm.}$$

7- تعاد الخطوات (2) إلى (6) لغرض إكمال الحسابات لباقي القراءات المبينة في الجدول (3-1).

8- يتم رسم منحنى التدرج الحبيبي لهذه التربة (الشكل 3-3) على ورقة بيانية نصف لوغاريتمية حيث أن المحور السيني وهو مقياس لوغاريتمي يمثل القطر D للحبيبات العابرة (عمود 12) والمحور الصادي وهو مقياس اعتيادي يمثل النسبة المئوية العابرة finer % (عمود 7).



الشكل (3 - 3): منحنى التدرج الحبيبي لنموذج التربة

7.3 ملاحظات عامة General Notes

إن الحبيبات العابرة للتربة من غربال قياس 0.075 ملميتر، تمثل التربة الناعمة التي تشمل الغرين Silt والطين Clay، ويمكن تحديد النسبة بينهما باعتبار أن الطين يمثل الحبيبات التي هي أصغر من قياس 0.002 ملميتر، وهنالك مواصفات تحدد أن الطين يمثل الحبيبات التي هي أصغر من قياس 0.001 ملميتر.

الجدول (3-2): عامل التصحيح الحراري

درجة حرارة المحلول	العامل	درجة حرارة المحلول	العامل
C_T	$م^0$	C_T	$م^0$
15	1.10 -	23	0.70 +
26	0.90 -	24	1.00 +
17	0.70 -	25	1.30 +
18	0.50 -	26	1.65 +
19	0.30 -	27	2.00 +
20	0.00	28	2.50 +
21	0.20 +	29	3.05 +
22	0.40 +	30	3.80 +

الجدول (3-3): عامل التصحيح a

الوزن النوعي للتربة	العامل
G	a
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04

الجدول (3-4): عامل اللزوجة K

درجة حرارة المحلول ^{0}م	الوزن النوعي للتربة G								
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

الجدول (3–5): الارتفاع الفعال L

القراءة مصححة للتقعر (Rm)	الارتفاع الفعال L (سم.)	القراءة مصححة للتقعر (Rm)	الارتفاع الفعال L (سم.)
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16.0	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.5
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15.0	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14.0	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13.0	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12.0	57	7.0
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

تجربة رقم 4

المحتوى المائي

Water - Content Determination

1.4 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T 265.

2- ASTM D2216-71 (ASTM Standards sec. 4, vol. 4.08).

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.4 الغرض من التجربة Purpose

إن اغلب الاختبارات المعملية في ميكانيكا التربة تتطلب معرفة مقدار الماء في التربة حيث أن هذه التجربة تحدد نسبة هذا المقدار الذي يمثل المحتوى المائي للتربة.

3.4 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (4-1) وهي كما يلي:

1- علب الرطوبة تكون متوفرة بأحجام مختلفة، مثلاً (قطر 50.8 ملميتر وارتفاع 22.2 ملميتر) أو (قطر 88.9 ملميتر وارتفاع 50.8 ملميتر).

2- فرن تجفيف بتحكم لدرجة حرارة تجفيف التربة بين 105 – 110 م°.

3- ميزان بدقة 0.01 جرام وسكين خاصة بالتربة.

4.4 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن المحتوى المائي يعرف كما يلي:

المحتوى المائي = وزن الماء في حجم معين من عينة التربة\وزن التربة الجافة في نفس الحجم

وللحصول على أفضل نتائج يعتمد على الجدول (4–1) الذي يبين أقل وزن لعينة التربة حسب الحبيبات الأكبر مقاساً فيها وطبقاً للمواصفة (ASTM D – 2216).

الجدول (4–1): الوزن الأقل لعينات التربة الرطبة لتحديد المحتوى المائي

الحبيبات الأكبر مقاساً في التربة (ملميتر)	مقاس المنخل (المواصفة الأميركية)	أقل وزن لعينة التربة (جرام)
0.425	رقم 40	20
2.0	رقم 10	50
4.75	رقم 4	100
9.5	8\3	500
19.0	4\3	2500

الشكل (4-1): معدات وأدوات تجربة المحتوى المائي

5.4 طريقة العمل Procedure

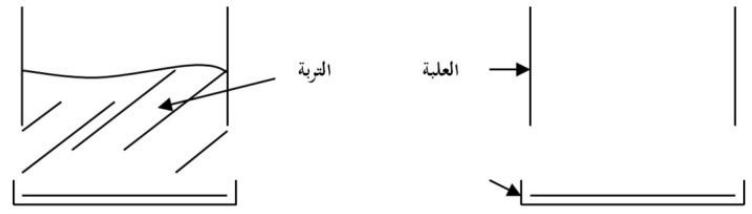
الشكل (4–2) يوضح الخطوات الأساسية للتجربة وتفاصيلها كما يلي:

1– توزن علب الرطوبة فارغة مع الغطاء (W_1) مع تسجيل أرقامها.

2– توضع عينة التربة الرطبة في علبة الرطوبة، وتغلق العلبة بغطائها لتجنب فقدان الرطوبة ثم توزن العينة مع العلبة بالغطاء (W_2).

3– يرفع غطاء العلبة ليكون أسفلها ثم توضع العلبة في الفرن بدرجة حرارة 105 إلى 110 م^0 لمدة لا تقل عن 24 ساعة من أجل تجفيف عينة التربة تجفيفاً كاملاً ويستوجب تجنب درجات الحرارة العالية لمنع احتراق المواد العضوية في التربة.

4 – يتم وزن العينة والعلبة بغطائها بعد إكمال عملية التجفيف (W_3).



الشكل (4–2): عينة التربة وعلبة الرطوبة

6.4 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (4–2) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات حيث تفاصيلها للعينة رقم (1) كما يلي:

1– يحسب وزن ماء العينة:

$$W_w = W_2 - W_3 = 43.52 - 39.86 = 3.66 \text{ g}$$

2– يحسب الوزن الجاف للعينة:

$$W_s = W_3 - W_1 = 39.86 - 17.31 = 22.55 \text{ g}$$

3– يكون المحتوى المائي:

$$\omega = W_w / W_s = 3.66 / 22.55 = 0.162 = 16.2 \%$$

4. يتم حساب متوسط المحتوى المائي:

$$\omega_{av.} = (16.2 + 16 + 16.5) = 16.2 \%$$

الجدول (4–2): القراءات ونتائج حسابات المحتوى المائي في حالة الإشباع

وصف التربة: طين غريني Silty Clay رقم العينة: 1

الموقع .....

مختبرة بواسطة..... التاريخ .....

التفاصيل	رقم العينة		
	1	2	3
رقم العلبة	42	31	54
وزن العلبة W_1 (جرام)	17.31	18.92	16.07
وزن العلبة + وزن التربة رطبة W_2 (جرام)	43.52	52.19	39.43
وزن العلبة + وزن التربة جافة فرنياً W_3 (جرام)	39.86	47.61	36.13
وزن الماء W_w (جرام)	3.66	4.58	3.30
وزن التربة جافة W_s (جرام)	22.55	28.69	20.06
المحتوى المائي ω(%)	16.2	16.0	16.5
متوسط المحتوى المائي $\omega_{av.}$ = 16.2 %			

7.4 ملاحظات عامة General Notes

1- إن التربة الخشنة الحبيبات في الطبيعية يمكن أن تحتوى على محتوى مائي يصل ما بين 15 إلى 20%، أما التربة الناعمة الحبيبات (الطين والغرين) فيكون المحتوى المائي ما بين 50 إلى 80%، والجدول (4-3) يبين القيم القياسية للمحتوى المائي لأنواع مختلفة من التربة الطبيعية في حالة الإشباع.

2- بعض أنواع التربة العضوية يمكن أن تتحلل أثناء التجفيف بالفرن في درجة الحرارة 110 م°، وتعتبر درجة الحرارة 60 م° مناسبة لمثل هذه الأنواع من التربة.

3- تبرد التربة بعد التجفيف بالفرن في المجفف الموصى به لأنه يوقف امتصاص الرطوبة من

الهواء الجوي.

الجدول (4–3): القيم القياسية للمحتوى المائي للتربة الطبيعية

نوع التربة	المحتوى المائي في حالة الإشباع (%)
رمل رخو	30-25
رمل كثيف	16-12
رمل غريني رخو بحبيبات زاوية	25
رمل غريني كثيف بحبيبات زاوية	15
طين متصلب	20
طين ناعم	50-30
طين عضوي ناعم	130-80
طين قاسي	10

تجربة رقم 5

الوزن النوعي

Specific Gravity

5.1 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T100 – 70.

2- ASTM D854 – 58.

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.5 الغرض من التجربة Purpose

تحديد الوزن النوعي لأية مادة كانت مؤلفة من حبيبات صغيرة حيث أن قيمته تكون اكبر من الواحد وينطبق ذلك على التربة الناعمة الحبيبات أو التربة الرملية.

3.5 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (5–1) وهي كما يلي:

1- قنينة كثافة يفضل أن تكون بحجم 250 أو 500 مللتر مع قطارة ماء.

2- مفرغ هوائي وخلاط كهربائي.

3- ميزان حساس بدقة 0.1 جرام.

4- فرن تجفيف بدرجة حرارة 105 – 110 م°.

5- مقياس حرارة مدرج بتقسيم 0.5 م°.

6- حمام ماء للتسخين والتبريد.

4.5 النظرية والتعريف Theory and Definition

أن قيمة الوزن النوعي للتربة تمثل وزن حجم معين للحبيبات الصلبة للتربة مقسوما على وزن نفس الحجم من الماء المقطر بدرجة 4 م° حيث يعتمد بشكل أساسي على قانون أرشميدس الذى ينص على أن الجسم المغمور في الماء يزيح نفس الحجم من الماء، والوعاء المستخدم في التجربة عبارة عن قنينة تحوى حجماً معيناً من الماء بدرجة 20 م° فاذا زادت درجة الحرارة على ذلك يزداد حجم الماء والعكس صحيح أيضاً، وبذلك يكون الوزن النوعي للتربة G_s كما يلي:

$$Gs = \gamma_s / \gamma_{water\ at\ 4\ c^\circ}$$

$$Gs = (W_s/V) / (W_w/V) = W_s / W_w$$

حيث:

γ_s: الكثافة الوزنية للحبيبات الصلبة للتربة.

γ_w: الكثافة الوزنية للماء.

W_s: وزن الحبيبات الصلبة للتربة لحجم معين V.

W_w: وزن الماء لنفس الحجم V.

الشكل (5–1): معدات وأدوات تجربة الوزن النوعي

5.5 طريقة العمل Procedure

1- تنظيف وتجفيف القنينة جيدا.

2- تملأ القنينة بعناية بالماء المقطر المفرغ من الهواء حتى علامة 500 مللتر.

3- يحدد وزن القنينة المملؤة بالماء حتى علامة 500 مللتر ولتكن W_1 (الشكل 5–2).

4- يوضع مقياس الحرارة داخل القنينة المملؤة بالماء وتحدد درجة حرارة الماء ولتكن $T = T_1$ م°.

5- يخلط حوالى 100 إلى 120 جم من تربة مجففة مع الماء المقطر في صحن حتى تصبح بشكل عجينة وتترك لمدة (20–30) دقيقة.

6- تنقل التربة إلى الخلاط الكهربائي ويضاف الماء حتى يصبح 200 مل وتخلط لمدة (10–15) دقيقة. (ملاحظة: هذه الخطوة غير ضرورية للتربة الحبيبية الغير متماسكة).

7- تنقل التربة وتوضع في القنينة ويضاف الماء إلى ثلثي القنينة.

8- يزال الهواء من الخليط بإحدى الطريقتين التاليتين:

أ) تغلى القنينة المحتوية على خليط التربة والماء بلطف حوالى (15–20) دقيقة مع التحريك المستمر.

ب) يستخرج الهواء بواسطة مضخة الهواء أو مفرغة الهواء حتى يتم سحب الهواء كليا إلى الخارج.

تعتبر هذه الخطوة مهمة جداً لأن اغلب الأخطاء في النتائج ترجع إلى الهواء المتبقي.

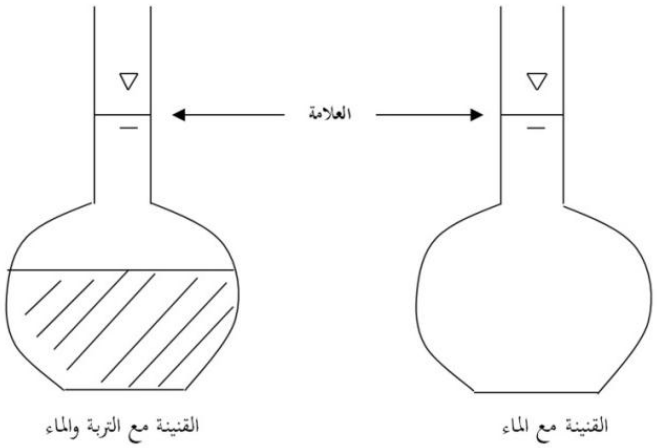
9- تخفض درجة حرارة الخليط في القنينة إلى درجة حرارة الغرفة.

10– يضاف الماء المقطر المفرغ من الهواء إلى القنينة حتى أسفل الشكل الهلالي الملامس لعلامة 500 مللتر ويجفف الجانب الخارجي للقنينة والداخلي لعنق القنينة اعلى الشكل الهلالي.

11– يحدد وزن القنينة مع التربة والماء وليكن W_2 (الشكل 5–2) مع التأكد من أن درجة حرارة الخليط هي نفس درجة حرارة الغرفة.

12– يفرغ الخليط في إناء التجفيف وبدقة كافية لعدم فقدان أي من حبيبات التربة ويغسل جوانب القنينة جيدا وذلك للتأكد من انه لا توجد تربة متبقية على جوانب الإناء ثم يوضع

الإناء في الفرن ليجف ويحدد وزن التربة الجافة وليكن W_3.



الشكل (5–2): قنينة الكثافة

6.5 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (5–1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات حيث تفاصيلها للعينة رقم (1) كما يلي:

1- تحسب قيمة الوزن النوعي G_s عند درجة الحرارة T_1 = 23 م° كالتالي:

$$G_{s\,(T1^oc)} = W_s \backslash W_w$$

حيث أن للعينة رقم 1:

وزن الحبيبات الصلبة: $W_s = W_3 = 99$ g

وزن الماء: $W_w = (W_1 + W_3) – W_2 = (660 + 99) – 722 = 37$ g

فيكون الوزن النوعي: $G_{s(T1^oc)} = W_w \setminus W_s = 99 / 37 = 2.68$

2- إن تغيير الحرارة يمكن أن يؤثر على الوزن النوعي عليه يتم تصحيح قيمة الوزن النوعي عند درجة الحرارة القياسية 20 م^0 كما يلي:

$$G_{s\,(20^oc)} = G_{s\,(T1^oc)} \text{ x } A$$

حيث أن:

A هو عامل التصحيح الحرارى = 0.9993 (جدول 5–2) ويمثل النسبة بين كثافة الماء بدرجة حرارة T_1 في التجربة إلى كثافة الماء بدرجة الحرارة القياسية 20م$^\circ$.

عليه فأن الوزن النوعي عند درجة الحرارة القياسية:

$$G_{s(20^oc)} = G_{s(T1^oc)} \text{ x } A = 2.68 \text{ x } 0.9993 = 2.68$$

الجدول (5-1): القراءات نتائج الحسابات

وصف التربة: طين غريني Silty Clay رقم العينة: 1

الموقع ..... مختبرة بواسطة..... التاريخ.....

درجة حرارة الاختبار: 23 م° A: 0.9993

الوصف	رقم العينة		
	1	2	3
رقم القنينة	6	8	9
وزن القنينة مملؤة بالماء إلى العلامة W_1 (جرام)	660.0	674.0	652.0
وزن القنينة + التربة و مملؤة بالماء إلى العلامة W_2 (جرام)	722.0	738.3	709.9
وزن الحبيبات الصلبة W_S (جرام)	99.0	103.0	92.0
وزن الماء W_W (جرام)	37.0	38.7	34.1
الوزن النوعي عند درجة حرارة الاختبار $G_{s\ (T1°c)}$	2.68	2.66	2.70
الوزن النوعي عند درجة الحارة القياسية $G_{s\ (20°c)}$	2.68	2.66	2.70
متوسط الوزن النوعي G_s = (2.68+2.66+02.7)\3 = 2.68			

الجدول (5–2): قيم A المقابلة لدرجات الحرارة أثناء التجربة

درجة الحرارة T_1 م°	A	درجة الحرارة T_1 م°	A
16	1.0007	24	0.9991
17	1.0006	25	0.9988
18	1.0004	26	0.9986
19	1.0002	27	0.9983
20	1.0000	28	0.9980
21	0.9998	29	0.9977
22	0.9996	30	0.9974
23	0.9993		

7.5 ملاحظات عامة General Notes

1- يحدث الخطأ الحقيقي في تحديد قيمة الوزن النوعي G_s من عدم خلط الماء بالتربة بشكل جيد وليس من تقدير درجة الحرارة بصورة صحيحة.

2- يستوجب استخدام ميزان واحد بنوع معين لغرض التقليل من الأخطاء المحتملة.

3- إن الماء في حالته الطبيعية يحتوي على فقاعات هواء وكذلك فأن حبيبات التربة تحتوي على فقاعات هواء أيضاً عليه يستوجب إزالة هذه الفقاعات بشكل جيد من أجل الحصول على قيم دقيقة للوزن النوعي G_s.

4- يفضل استخدام طريقة غليان الماء للتربة الناعمة وطريقة المفرغ الهوائي للتربة الرملية.

5- تكرر التجربة لغاية الحصول على قيمتين لا تختلفان عن بعضهما أكثر من 3 %.

6- الجدول (5–2) يبين بعض قيم الأوزان النوعية لبعض الأنواع من التربة.

الجدول (5–2): قيم الوزن النوعي لأنواع من التربة

نوع التربة	G_s
رمل	2.63 ← 2.67
غرين	2.65 ← 2.7
طين وغرين طيني	2.67 ← 2.9
التربة العضوية	أقل من 2

تجربة رقم 6

الكثافة الظاهرية

Bulk Density

1.6 المصادر والمواصفات References and Specifications

1- ASTM D2937.

2- BS 1377: 1975, Test 15 (F).

3- Head, K. H., 1982. Manual of soil laboratory testing, Volume 2, Pentech Press, London, UK.

2.6 الغرض من التجربة Purpose

تخمين الكثافة الظاهرية للتربة المتماسكة بطريقة الإحلال المائي Water - Displacement باستخدام شمع البرافين.

3.6 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (6-1) وهي كما يلي:

1- أسطوانة معدنية قياسية خاصة للإحلال المائي مزودة بأنبوب سايفوني ذو صنبور قارص.

2- أسطوانة زجاجية مدرجة أو كأس زجاجي مدرج سعة 250 مللتر.

3- ميزان دقة 0.1 جرام.

4- مادة شمع البرافين مع حمام مائي أو مصدر حراري مسيطر عليه لإذابة الشمع.

5- أدوات تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

4.6 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن الكثافة الكلية أو الظاهرية للتربة تمثل الوزن الكلي W_t للحجم الكلي V_t من عينة تربة:

$$\gamma_t = W_t/V_t$$

يتم وزن العينة بشكل مباشر، أما قياس الحجم الكلي لهذه العينة فيعتمد على الشكل الإجمالي لها فعندما تكون منتظمة ولها أبعاد محددة يمكن قياسها وبالتالي حساب حجمها بالقوانين الهندسية المعتمدة، ولكن إذا كانت العينة غير منتظمة يتعذر تحديد أبعادها حيث لا يمكن حساب حجمها بالقوانين الهندسية يستوجب حينذاك الاعتماد على طريقة خاصة لإيجاد حجمها. سيتم في هذه التجربة استخدام طريقة الإحلال المائي لحساب حجم عينة التربة وبالتالي إيجاد كثافتها، ويمكن حساب الكثافة الجافة γ_d لهذه العينة بعد تحديد مقدار المحتوى المائي ω لها (تجربة رقم 4):

$$\gamma_d = \gamma_t / (1+\omega)$$

الشكل (6-1): معدات وأدوات تجربة الكثافة الظاهرية

5.6 طريقة العمل Procedure

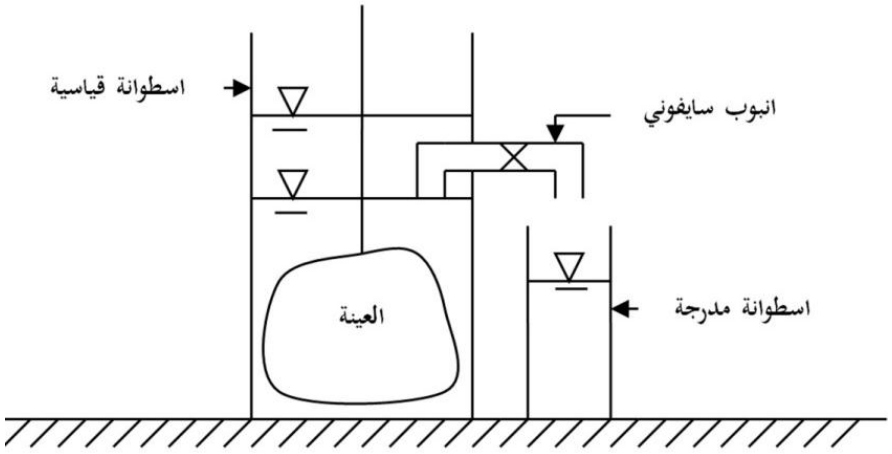
1- اختيار وتحضير عينة تربة متماسكة حيث يكون شكلها عشوائياً وبأبعاد تقريبية في جميع الاتجاهات بحدود 10 سنتيمتر، وتوزن هذه العينة W_t بدقة 1 جرام، بعد أن تربط بخيط رفيع يساعد على غمرها شمع البرافين الذائب وكذلك ماء الأسطوانة.

2- يتم إذابة الشمع مع تلافي رفع درجة حرارته عالياً حيث يتطلب فقط عبوره نقطة الغليان قليلاً ثم تغمر العينة بالشمع الذائب بمساعدة الخيط وترفع مباشرةً حيث تتكون قشرة شمعية حول العينة ويمكن إعادة العملية لضمان أن الحبيبة قد غلفت تماماً بالقشرة الشمعية.

3- عندما تبرد العينة المغلفة بالشمع يتم وزنها W_{pt} بدقة 1 جرام، ويتم تحضير الأسطوانة القياسية حيث تعبأ بالماء لغاية المستوى القيلسي المؤشر بداخلها فوق فتحة الأنبوب السايفوني.

4- تربط العينة بالخيط ثم تغمر في ماء الأسطوانة فيرتفع مستوى الماء فيها (الشكل 6-2)، يتم فتح الصنبور القارص للأنبوب السايفوني كي يتدفق الماء بشكل بطئ حيث يتم استلامه في الأسطوانة الزجاجية المدرجة أو الوعاء الزجاجي الموضع تحت فتحة الأنبوب، أثناء هذه العملية يتم مراقبة انخفاض مستوى الماء داخل الأسطوانة القياسية ورجوعه إلى المستوى القياسي الابتدائي حيث يغلق الصنبور القارص مباشرةً لإيقاف تدفق الماء.

5- يقاس حجم الماء الذي تم تجميعه في الأسطوانة المدرجة أو الوعاء الزجاجي لدقة 1 سنتميتر^3 حيث يمثل هذا حجم عينة التربة V_{pt} مغلفة بالشمع.



الشكل (6-2): غمر العينة في ماء الأسطوانة القياسية

6.6 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (6-1) الذي يوضح القراءات التي تم الحصول عليها من التجربة ونتائج الحسابات المبين تفاصيلها

للعينة رقم (1) كما يلي:

1- إن الوزن الكلي W_t لعينة التربة رقم 1 = 643 جرام، وبعد تغليفها بالشمع كان وزنها W_{pt} = 659 جرام، عليه يكون وزن الشمع W_p هو:

$$W_p = W_t - W_{pt} = 659 - 643 = 16g$$

2- إن حجم الماء الذي تم تجميعه في الأسطوانة المدرجة والذي يمثل حجم العينة V_{pt} مغلفة بالشمع = 376 سنتميتر^3 والذي يمثل:

$$Vpt = Vt + Vp = 376\ cm^3$$

$$Wt/\gamma_t + Wp/\gamma_p = 376$$

وحيث أن كثافة الشمع γ_p = 0.91 جرام/سنتميتر^3 عليه فإن:

$$643 / \gamma_t + 16/ 0.91 = 376$$

فتكون الكثافة الكلية γ_t لعينة التربة = 1.79 جرام/سنتميتر^3.

3- تم قياس المحتوى المائي ω لهذه التربة حيث كان = 4.7 % لذا فان الكثافة الجافة لها هي:

$$\gamma_d = \gamma_t / (1+\omega) = 1.79/ (1+ 0.047) = 1.71\ g/cm^3$$

4- يكون متوسط الكثافة الجافة للعينتين:

$$(\gamma_d)_{av.} = (1.71 + 1.68)/2 = 1.70\ g/cm^3$$

الجدول (6-1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: طين غريني Silty Clay رقم العينة: 1

كثافة الشمع: 0.91 جرام/سنتميتر الموقع: .....

مختبرة بواسطة: .....التاريخ: .....

رقم العينة	1	2
الوزن الكلي للعينة W_t (جرام)	643	559
وزن العينة مغلفة بالشمع W_p (جرام)	659	578
وزن الشمع W_p (جرام)	16	19
حجم العينة مغلفة بالشمع V_{pt} (سنتميتر^3)	376	341
الكثافة الكلية γ_t (جرام/سنتميتر^3)	1.79	1.75
المحتوى المائي (%)	4.7	4.2
الكثافة الجافة γ_d (جرام/سنتميتر^3)	1.71	1.68

7.6 ملاحظات عامة General Notes

الكثافة الكلية للتربة تمثل كثافتها الرطبة وتكون قيمتها في حالتها الطبيعية معتمدةً على حالة وطبيعة التربة وكذلك ظروف الموقع وهي عادة تكون محصورة بين حوالي 1.60 إلى 2.00 جرام/سنتميتر^3 والكثافة الجافة تعتمد على قيمة المحتوى المائي الذي يعتمد أيضاً على ظروف الموقع وحالة الطقس وموسم السنة.

إن القيم المحسوبة لكثافة التربة والمثبتة في الجدول قد تمثل نقطة واحدة وبالتالي يجب أن تكون متقاربة أو شبه متساوية، أما إذا كانت تمثل نقطتين مختلفتين فربما قد يزداد الفارق بينهما.

تجربة رقم 7

حدود القوام

Consistency Limits

1.7 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T89 and T90.

2- ASTM D4318.

3- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

4- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.7 الغرض من التجربة Purpose

تحديد الرطوبة التي تنتقل فيها التربة الناعمة من الحالة السائلة إلى الحالة اللدنة عند تجفيفها، وهو يمثل حد السيولة وكذلك تحديد محتوى الرطوبة الذى تنتقل فيه التربة من الحالة اللدنة إلى الحالة الصلبة عند تجفيفها أيضا وهو يمثل حد اللدونة، وتستخدم قيمتا حد السيولة وحد اللدونة بصورة أساسية لتحديد نوعية التربة وتصنيفها حيث أنها تعبر عن قوام التربة الناعمة الحبيبات وعليه تسمى حدود القوام، والشكل (7–1) يبين تغيير الحالة الفيزياوية للتربة عند الانتقال بين هذه الحدود بزيادة محتوى الرطوبة.

الشكل (7-1): حدود قوام التربة

3.7 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (7 – 2) وهي كما يلي:

1- جهاز كازاغراندي (شكل 7 – 3) حيث يتألف من صحن من النحاس قابل ليسقط من ارتفاع 10 ملميتر، على قاعدة مطاطية صلبة، ويعمل الجهاز بمحرك كهربائي أو ذراع دوران يدوي.

2- أداة شق قياسية خاصة بحد السيولة (الشكل 7 – 4).

3- لوح زجاجي وصحن مع ملعقة وقطارة ماء لخلط وعجن التربة مع علب رطوبة.

4- قضيب قياسي قطر 3 ملميتر. خاص بحد اللدونة.

5- فرن تجفيف بدرجة حرارة بين 105 و 110 مئوي وميزان حساس بدقة 0.01 جرام.

الشكل (7–2): معدات وأدوات تجربة حدود القوام

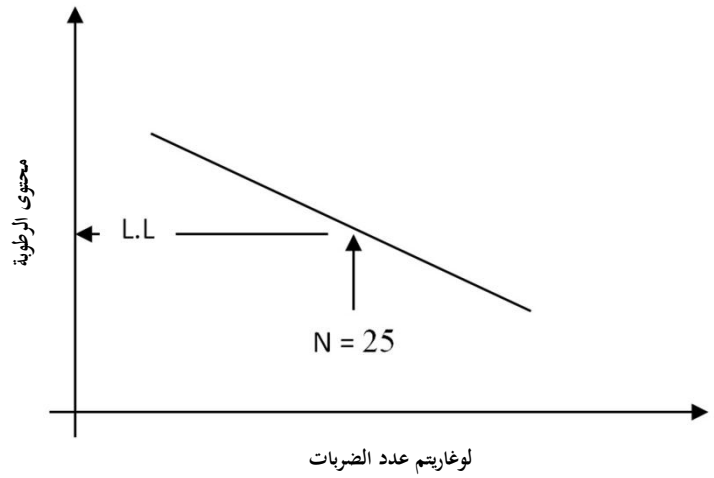
الشكل (7–3):جهاز كازاغراندي

الشكل (7–4): أداة الشق

4.7 النظرية والتعريف Theory and Definition

يعرف حد السيولة بأنه محتوى الرطوبة الذي يتم الحصول عليه لإغلاق الشق في عجينة التربة بمقدار 12.7 ملميتر، بجهاز كازاكراندي من عدد 25 ضربة، وبما إن هناك صعوبة كبيرة للحصول على هذه الرطوبة بهذين الشرطين مباشرة لذلك يستخدم مخطط نصف لوغاريتمي للحصول على النقطة المطلوبة حيث تصبح العلاقة خطية بين عدد الضربات (قياس لوغاريتمي) ومحتوى الرطوبة (قياس اعتيادي)، ويستوجب الحصول ما بين

ثلاث إلى ست نقاط لعدد ضربات برطوبة مختلفة على جانبي العدد 25 ضربة حيث تكون العلاقة خطية بين 10 إلى 100 ضربة كما هو موضح في الشكل (7-5)، أما حد اللدونة فأنه يعرف بالمحتوى المائي الذي يبدأ عنده ظهور تشققات في فتائل بقطر 3 ملميتر من عجينة التربة.



الشكل (7-5): العلاقة بين محتوى الرطوبة وعدد الضربات

5.7 طريقة العمل Procedure

أ) حد السيولة

1- يتم وزن علب الرطوبة وليكن (W_1) مع تسجيل أرقامها.

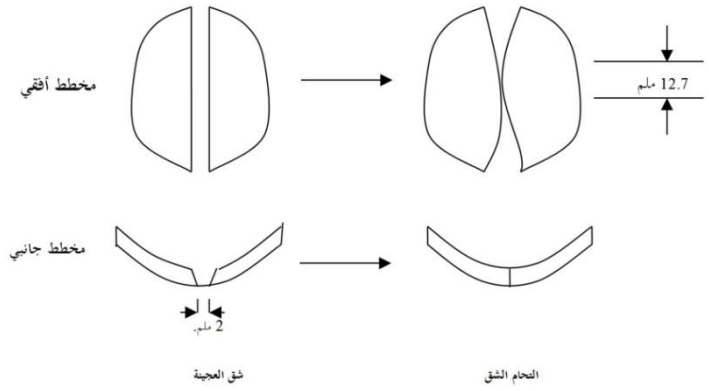
2- تحضير عينة التربة حيث تكون عابرة من منخل رقم 40، وتوضع في إناء من البورسلين وتضاف كمية من الماء وتخلط جيدا مع التربة للحصول على عجينة متجانسة.

3- يوضع جزء من عجينة التربة في الوعاء المعدني الذي يكون مرتكزا على قاعدة الجهاز ثم تفرد ويسوى سطحها بحيث يكون سمك العجينة في منتصف الوعاء المعدني 8 ملميتر، تزال التربة الزائدة وتوضع في إناء.

4- يتم شق عجينة التربة في منتصف الوعاء باتجاه القطر (الشكل 7-6) بحيث تكون أداة الشق عمودية على سطح الوعاء ويراعى أن يكون الشق سليما ومنتظماً وبالإبعاد المطلوبة، وعند عدم إمكانية الحصول على شق منتظم فهذا يعني أن التربة غير لدنة ويتم تسجيل هذه الحالة.

5- يدار الجهاز بمعدل دورتين في الثانية ليبدأ الوعاء بحركة الصعود والنزول بمسافة بينية 10 ملميتر.

حيث يتحرك جزئياً عجينة التربة ويلتصق الشق بمسافة مقدارها 12.7ملميتر، ليتم عندها تسجيل عدد الضربات المسببة للالتصاق، وفي بعض الأحيان يكون الالتصاق في موضعين من الشق فيستوجب بقاء الجهاز شغالاً لحين أن يكون الالتصاق مستمراً.



الشكل (7-6): تخمين حد السيولة

6- تؤخذ حوالي 10 جرام من منطقة الالتحام لجانبي الشق بواسطة السكين وتوضع في علب لتعيين محتوى الرطوبة كما ورد في التجربة (4).

7- تعاد التربة المتبقية في الوعاء المعدني إلى الإناء ثم يغسل ويجفف كل من الوعاء المعدني وآلة الشق للقيام بالمحاولة التالية.

8- تضاف إلى العينة في الإناء حوالي 1 ⟵ 3 مللتر من الماء المقطر حسب نوع التربة، وتكرر الخطوات من (3) إلى (7) للحصول على أربع نقط على الأقل لرسم منحنى. ويراعى إن تكون نقطتان ذات عدد ضربات اكبر من 25 ونقطتان ذات عدد ضربات اقل من 25.

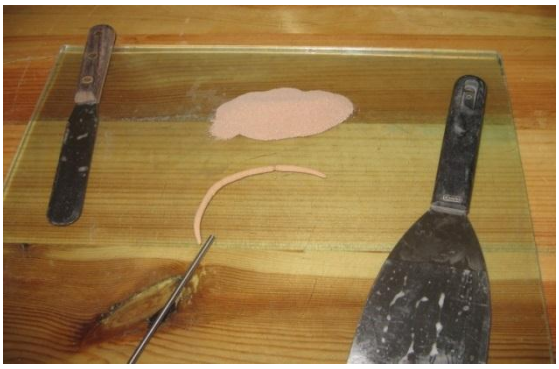
9- الاختبار مقبولا إذا كان عدد الضربات يتراوح بين (10−40) ضربة.

ب) حد اللدونة

1- يضغط على العينة لجعلها بشكل كرة براحة اليد (20–30) جرام.

2- توضع على لوح زجاجي وتبدأ بعمل فتائل منها براحة اليد كما مبين في (الشكل 7–7) وعندما يصبح قطر الفتيلة 3 ملميتر تقسم الفتيلة إلى عدة أقسام وتحولها إلى كرات مرة ثانية، يكرر عمل الفتائل لحين الحصول على تشققات في الفتيلة بتأثير الضغط براحة اليد فإذا انفصلت الفتيلة فأن الرطوبة للعينة في هذه اللحظة تكون هي رطوبة حد اللدونة (PL) إذا كان قطر الفتيلة 3 ملميتر.

3- تكرر العملية لعدد من الفتائل حيث تؤخذ في كل مرة عينة لتحديد محتوى الرطوبة.



الشكل (7-7): تخمين حد اللدونة

6.7 الحسابات والنتائج Calculation and Results

تجرى خطوات حساب محتوى الرطوبة (تجربة 4) بعدها يتم اتباع ما يلي:

1- ترصد القراءات ونتائج الحسابات المتعلقة بحد السيولة في الجدول (7-1) ويتم رسم العلاقة البيانية بين عدد الضربات بالقياس اللوغاريتمي على المحور الأفقي ومحتوى الرطوبة بالقياس

الاعتيادي على المحور العمودي حيث يتم الحصول على أفضل خط مستقيم (الشكل 7–7).

2- تعتبر قيمة محتوى الرطوبة المقابلة لنقطة تقاطع الخط الرأسي المار بعدد 25 ضربة هي قيمة حد السيولة .L.L للتربة والتي تساوي 33.5 %

3- ترصد القراءات ونتائج الحسابات المتعلقة بحد اللدونة (الجدول 7–2) وتؤخذ القيمة المتوسطة لتمثل مقدار حد اللدونة P.L بشرط أن تكون القيم متقاربة مع بعضها:

$$(P.L.)_{av.} = (18.7 + 19.1)/2 = 18.9\ \%$$

4- يحسب مقدار مؤشر P.I اللدونة كما يلي:

$$P.I. = L.L. - P.L. = 33.5 - 18.9 = 14.6\ \%$$

القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: طين غريني Silty Clay رقم العينة: 1

الموقع: .....

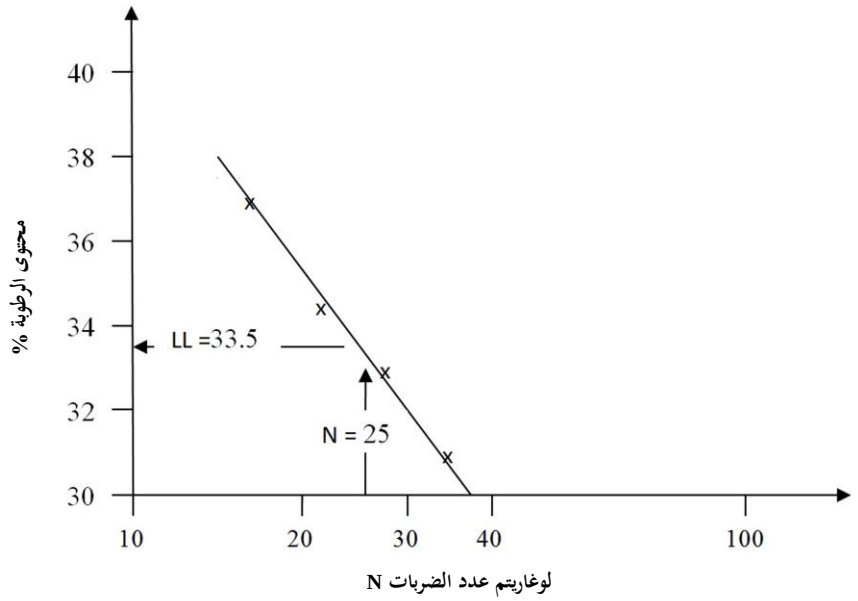
مختبرة بواسطة:..... التاريخ: .....

الجدول (7–1): اختبار حد السيولة

رقم المحاولة	1	2	3	4
رقم العلبة	27	28	31	34
وزن العلبة فارغة W_1 (جرام)	17.33	17.41	17.45	17.36
وزن العلبة +وزن التربة رطبة W_2 (جرام)	48.61	55.53	51.71	50.51
وزن العلبة +وزن التربة جافة W_3 (جرام)	41.19	46.05	42.98	41.54
محتوى الرطوبة ω (%)	31.1	33.1	34.2	37.1
عدد الضربات N	34	27	22	17

الجدول (7-2): اختبار حد اللدونة

رقم المحاولة	1	2
رقم العلبة	35	37
وزن العلبة فارغة W_1 (جرام)	20.63	20.66
وزن العلبة +وزن التربة رطبة W_2 (جرام)	29.26	30.03
وزن العلبة +وزن التربة جافة W_3 (جرام)	27.90	28.53
محتوى الرطوبة ω (%)	18.7	19.1



الشكل (7–7): تحديد مقدار حد السيولة

7.7 ملاحظات عامة General Notes

1- من خلال اختبارات حد السيولة على عدة أنواع من التربة يمكن حساب حد السيولة

من العلاقة التالية:

$$L.L. = W_N\ (\%)\ (N/25)^{0.121}$$

حيث أن:

W_N: يمثل محتوى الرطوبة للتربة اللازم لإقفال الشق في عجينة التربة بجهاز كازاغراندي بعد N من الضربات.

لغرض تطبيق هذه العلاقة فقد أوصت المواصفة ASTM أن تكون قيمة محتوى الرطوبة W_N مناضرة لعدد الضربات N المحصورة بين 20 – 30 ضربة، والجدول (7–3) يعطى قيمة $(N/25)^{0.121}$ المقابلة لعدد N من الضربات.

الجدول (7–3): قيمة $(N/25)^{0.121}$ المقابلة لعدد الضربات

N	$(N/25)^{0.121}$	N	$(N/25)^{0.121}$
20	0.973	26	1.005
21	0.979	27	1.009
22	0.985	28	1.014
23	0.990	29	1.018
24	0.995	30	1.022
25	1.000		

2– حد السيولة يتغير بالاعتماد على مقدار نوع معادن الطين الموجودة في التربة، والجدول (7–4) يوضح قيم حد السيولة لبعض أنواع المعادن الطينية.

الجدول (7-4): معدلات حد السيولة لمعادن الطين

المعدن الطيني	LL
الكولونيت	100 - 35
الاليت	120 - 55
المونتمنوليت	800 - 100

3- حد السيولة ودليل اللدونة للتربة المتماسكة يعتبران مقياساً مهماً للتصنيف في نظام التصنيف الهندسي للتربة، فمن دليل اللدونة يمكن أن تحدد قيمة الفعالية A للتربة الطينية كما يلي:

الفعالية A = دليل اللدونة \ النسبة المئوية للطين في التربة والجدول (7–5) يبين قيم دليل اللدونة لبعض أنواع المعادن الطينية.

الجدول (7–5): دليل اللدونة لمعادن الطين

معدن الطين	PI
الكولونيت	40-20
الاليت	50-35
المونتمنوليت	100-50

تجربة رقم 8

الدمك المعملي

Laboratory Soil Compaction

1.8 المصادر والمواصفات References and Specification

1- AASHTO T99 -70 and T180 – 70.

2- ASTM D698 - 70 and D1557 – 70.

3- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

4- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.8 الغرض من التجربة Purpose

إجراء عملية الدمك المعملي للتربة المتماسكة ثم رسم منحنى الدمك لتخمين الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي الأمثل لهذه التربة.

3.8 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (8-1) وهي كما يلي:

1- الأدوات القياسية للدمك المعملي وتشمل مجموعة الدمك القياسي ومجموعة الدمك المعدل وتحوي كل مجموعة ما يلي: قالب أسطواني مع حلقة إضافية، مطرقة ساقطة، آلة تعديل مستقيمة حادة الحافة.

2- صحناً كبيراً مستوياً وأدوات خلط التربة وعلب نماذج مع أسطوانة مدرجة وقطارة ماء.

3- آلة رافعة لاستخلاص النماذج.

4- ميزاناً بدقة 0.1 جرام.

5- فرن تجفيف بدرجة حرارة 105 إلى 110 م^0.

6- غربالاً قياس 4.75 ملميتر.

7- أدوات تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

4.8 النظرية والتعريف Theory and Definition

يعتبر الدمك الحقلي الطريقة التقليدية لتحسين خواص التربة، ولغرض قياس درجة الدمك الحقلي يستوجب إجراء تجربة الدمك المعملي على نموذج من نفس التربة المستخدمة حقلياً. إن إجراء التجربة على التربة المتماسكة يعتمد على طريقة بروكتر التي تتضمن استخدام مطرقة قياسية ساقطة لدمك نموذج تربة ذات حبيبات قياسية وبمحتوى مائي معين في قالب أسطواني قياسي حيث أن حجم هذا القالب ووزن المطرقة ومسافة الإسقاط إضافةً إلى عدد طبقات التربة في القالب وعدد إسقاطات المطرقة على كل طبقة هي المحددات الرئيسية لطاقة الدمك.

إن طريقة بروكتر تعطي مقدارين لطاقة الدمك على ضوئها تحدد فيها تجربة بروكتر

للدمك القياسيMPT والتي تكون فيها طاقة الدمك بحدود 590 كيلو جول/متر^3 وتجربة بروكتر للدمك المعدل SPT والتي تكون فيها طاقة الدمك بحدود 2700 كيلو جول/متر^3 (الجدول 8-1).

إن الهدف الرئيسي من إجراء تجربة الدمك المعملي هو معرفة قابلية التربة للدمك حيث تجرى التجربة على تربة محددة بقيم مختلفة من المحتوى المائي ابتداء من قيمة منخفضة وانتهاءً بقيمة عالية، ويتم حساب الكثافة الكلية γ_t لهذه القيم من المحتوى المائي:

$$\gamma_t = W_t/V_t$$

حيث يمثل W_t الوزن الكلي للتربة داخل القالب المعلوم الحجم V_t، ومن معرفة مقدار المحتوى المائي (تجربة 4) يمكن أيجاد مقدار الكثافة الجافة γd:

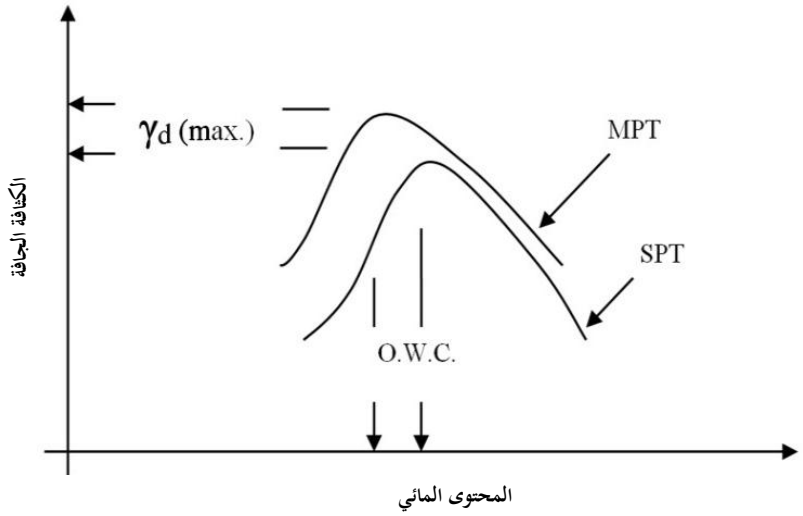
$$\gamma d = \gamma t / (1 + \omega)$$

الشكل (8-1): معدات وأدوات تجربة الدمك المعملي

الجدول (8–1): بعض المواصفات المعتمدة في الدمك المعملي للتربة

نوع التجربة	المواصفة	وزن المطرقة (كيلوجرام)	مسافة الإسقاط (ملميتر)	عدد طبقات التربة	عدد الإسقاطات لكل طبقة	حجم القالب (سنتميتر^3)
الدمك القياسي SPT	ASTM D698-78 AASHTO T99	2.49	305	3	25	944
الدمك المعدل MPT	ASTM D1557-78 AASHTO T180	4.54	457	5	25	944

يتم رسم منحنى الدمك (الشكل 8–2) وبالتالي تخمين مقدار الكثافة الجافة القصوى (γ_d (max.) عند المحتوى الأمثلO.W.C حيث يمثل جزء المنحني قبل هذه النقطة الجانب الجاف كما يمثل جزء المنحني بعد هذه النقطة الجانب الرطب.



الشكل (8-2): منحنيات الدمك القياسي والمعدل

5.8 طريقة العمل Procedure

1– تحضر التربة العابرة من غربال قياس 4.75 ملميتر لإجراء التجربة عليها حيث تؤخذ 6

إلى 8 نماذج لكل من الفحص القياسي والفحص المعدل حيث كل نموذج بوزن تقريبي = 3000 جرام عند استعمال قالب قياسي بقطر 100 ملميتر وبوزن تقريبي = 5500 جرام. عند استعمال قالب قياسي بقطر 150 ملميتر.

2- يتم البدء بعمل أول محاولة حيث يؤخذ النموذج الأول ويضاف إليه الماء ليكون المحتوى المائي قليل نسبياً معتمدا ذلك على نوع التربة (يمكن البدء بحالة كون التربة جافة هوائياً عندما يكون الجو رطباً خاصةً في فصل الشتاء)، يخلط النموذج بشكل جيد لحين الحصول على تربة متجانسة ثم توضع في علبة النماذج وتغلق بإحكام.

3- تعاد العملية في الخطوة رقم 2 على بقية النماذج بزيادة مقدار المحتوى المائي بحيث أن النموذج الأخير يكون بمحتوى مائي عالٍ نسبياً قريب من حالة الإشباع، تترك النماذج في العلب لمدة بين 12 إلى 24 ساعة كفترة معالجة لضمان تجانس حبيبات التربة مع المحتوى المائي.

4- يتم بدقة قياس ارتفاع القالب وقطره الداخلي دون الحلقة الإضافية وكذلك وزنه مع القاعدة، ويتم تحضير علب الرطوبة ووزنها أيضاً وهي فارغة وتسجيل أرقامها أيضاً.

5- تفرغ تربة النموذج الأول في الصحن الخاص وتخلط جيداً مرة أخرى بعد إضافة 1% محتوى مائي تعويضاً عن الماء الذي يفقد أثناء الخلط وفترة المعالجة ، يتم البدء بإجراء عملية الدمك للتربة داخل القالب بواسطة المطرقة الساقطة (الشكل 8-3) بعدد طبقات قياسية

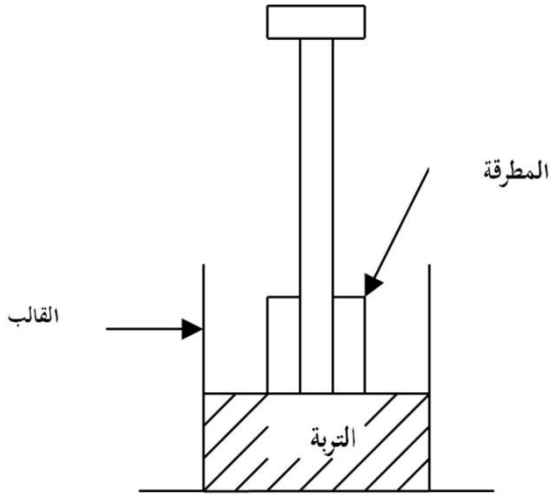
وعدد إسقاطات قياسية أيضاً لكل طبقة بحيث تتوزع الإسقاطات عليها وأن يكون مستوى الوجه العلوى للطبقة الأخيرة العليا للتربة المدموكة داخل القالب بارتفاع 6 ملميتر تقريباً فوق الحد الفاصل بين القالب الرئيسي والحلقة الإضافية، وإذا كان مستوى الوجه أخفض من هذا الحد فيجب إعادة عملية الدمك.

6- ترفع الحلقة الإضافية للقالب ويتم تعديل الوجه العلوي للنموذج بحيث يكون بمستوى حافة القالب تماماً، عند خروج حبيبات تربة من تحت هذا المستوى أثناء عملية التعديل يمكن تعويضها بحبيبات تربة وتعديل الوجه مرةً أخرى.

7- ينظف القالب والقاعدة من أي حبيبات تربة خارجية لغرض وزنه مع التربة بعد ذلك يتم استخلاص نموذج التربة من داخل القالب بواسطة الآلة الخاصة لهذا الغرض، تؤخذ عينتان في علب الرطوبة وتوزن لتخمين المحتوى المائي، واحدة قرب الوجه العلوى والأخرى قرب الوجه السفلي للنموذج.

8- تعاد الخطوات رقم 5 إلى رقم 7 على بقية نماذج التربة في العلب التي تم تحضيرها في الخطوة رقم 3.

9- توضع علب الرطوبة الحاوية على عينات التربة داخل فرن التجفيف بدرجة حرارة بين 105 إلى 110م^0 لمدة 24 ساعة حيث يتم وزنها بعد إكمال عملية التجفيف التام للعينات.



الشكل (8-3): دمك التربة في القالب

6.8 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (8-2) والجدول (8-3) التي تبين القراءات التي تم الحصول عليها وكذلك نتائج الحسابات حيث أن الخطوات المتعلقة بالمحتوى المائي تمت وفق التجربة رقم (4) وتفاصيل بقية الحسابات كما يلي:

1- إن الحجم الداخلي للقالب المستخدم الذي يمثل الحجم الكلي V_t لنماذج التربة المدمكة هو أسطواني الشكل ويمكن حسابه لجميع المحاولات كما يلي:

$$V_t = \pi D^2 H/4 = ((10.3)^2 3.143/4) \times = 12\ 1000\ cm^3$$

2- للتربة المدمكة داخل القالب والذي يساوي W_t

يتم حساب الوزن الكلي (الرطب)

W_t = وزن (التربة + القالب) – وزن القالب

للمحاولة الأولى يكون هذا الوزن:

$$W_t = 3757.2 - 1933 = 1824.2 \text{ g}$$

3- تحسب الكثافة الكلية (الرطبة) γ_t كما يلي:

$$\gamma_t = W_t / V_t$$

فيكون مقدارها للمحاولة الأولى هو:

$$\gamma_t = 1824.2 / 1000 = 1.82 \text{ g / cm}^3$$

4- بالاعتماد على مقدار المحتوى المائي يمكن حساب الكثافة الجافة وفق العلاقة التالي:

$$\gamma_d = \gamma_t / (1+\omega)$$

للمحاولة الأولى هو: γ_d عليه يكون مقدار الكثافة الجافة:

$$\gamma_d = 1.82 / (1+0.078) = 1.69 \text{ g/cm}^3$$

5- بعد الخطوة رقم 4 يتم تكملة الحسابات لبقية النقاط ثم رسم العلاقة بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي حيث تمثل منحنى الدمك (الشكل 8-4)، ويتم استخراج مقادير الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي الأمثل من هذا المنحنى:

γ_d (max.) $= 1.95 \text{ g/cm}^3$

o.w.c = 12.0 %

6- لرسم خط التشبع النظري مع هذا المنحني يتم حساب الكثافة الجافة للمحاولات بفرض أن التربة تكون مشبعة تماماً أي أن محتوى الهواء = 0:

$$\gamma_d = G\gamma_w / (1+ \omega G)$$

عليه تكون الكثافة الجافة للنقطة الأولى كنموذج لحساب جميع النقاط هي:

γ_d 2.65 =× 2.20 g/cm^3 = (1+0.078×2.65) / 1

القراءات ونتائج الحسابات

نوع التجربة: دمك بروكتر القياسي **SPT**

صنف التربة: طين رملي غريني Silty Sandy Clay الوزن النوعي للتربة: 2.65

حد اللدونة: 14.1 % حد السيولة: 28.3 %

قطر القالب: 10.3 سنتميتر. ارتفاع القالب: 12.0 سنتميتر.

حجم القالب: 1000 سنتميتر ^{3} وزن المطرقة: 2.49 كيلوجرام.

عدد طبقات التربة: 3 عدد إسقاطات المطرقة / الطبقة: 26

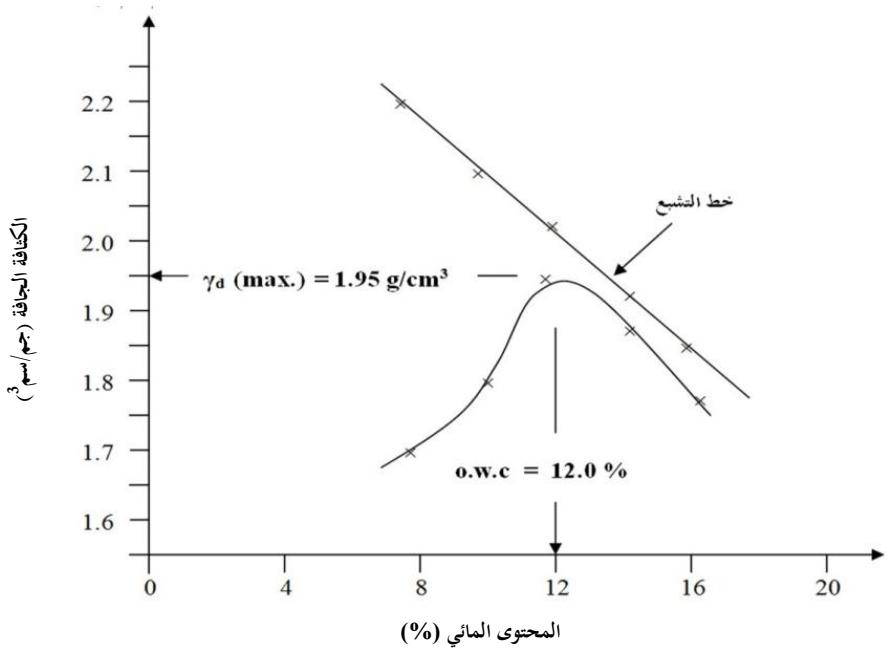
مختبرة بواسطة: التاريخ:

الجدول (8–2): حسابات المحتوى المائي

رقم العينة	1		2		3		4		5	
رقم علبة الرطوبة	75	77	86	81	88	87	104	93	110	109
وزن العلبة فارغة (جرام)	22.57	22.02	22.32	22.00	17.80	17.85	18.46	17.32	17.25	17.21
وزن العلبة + التربة(رطبة) (جرام)	93.80	98.24	101.76	93.96	88.47	97.62	102.53	95.22	97.07	100.65
وزن العلبة + التربة (جافة) (جرام)	88.64	92.66	94.46	87.37	80.94	89.00	91.83	85.47	85.68	88.83
وزن الماء(جرام)	5.16	5.58	7.30	6.59	7.53	8.62	10.70	9.75	11.39	11.82
وزن التربة (جافة) (جرام)	66.07	70.64	72.14	65.37	63.14	71.15	74.37	68.15	68.43	71.62
المحتوى المائي (%)	7.81	7.90	10.12	10.08	11.93	12.11	14.31	14.31	16.64	16.51

الجدول (8–3): حسابات الكثافة

16.6	14.3	12.0	10.1	7.8	المحتوى المائي (%)
4015.2	4082.5	4109.0	3921.4	3757.2	وزن التربة + القالب (جرام)
1933.0	1933.0	1933.0	1933.0	1933.0	وزن القالب (جرام)
2082.2	2149.5	2176.0	1988.4	1824.2	وزن التربة (جرام)
2.08	2.15	2.18	1.99	1.82	الكثافة الرطبة (جرام/سنتميتر3)
1.78	1.88	1.95	1.81	1.69	الكثافة الجافة (جرام/سنتميتر3)
1.84	1.92	2.01	2.09	2.20	الكثافة الجافة (جرام/سنتميتر3) عند محتوى خط التشبع



الشكل (8-4): منحنى الدمك وخط التشبع لعينة التربة

7.8 ملاحظات عامة General Notes

يتم عادةً إجراء تجربتي الدمك القياسي والدمك المعدل ورسم منحنى الدمك وخط التشبع لكل واحدة في التربة يرفع عادةً مقدار المحتوى المائي الأمثل، يمكن مقارنة Clay منها، إن زيادة نسبة الطين المنحنيين على رسم بياني واحد حيث يلاحظ أن مقدار الكثافة الجافة القصوى في الدمك المعدل أعلى مما عليه في الدمك القياسي وبمحتوى مائي أقل وهذا ما تم توضيحه في الشكل (8-2).

تجربة رقم 9

الكثافة الحقلية بطريقة الإحلال الرملي

Felid Density by Sand – Cone Apparatus

1.9 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T181- 62 and T191- 61.

2- ASTM D1556-64.

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.9 الغرض من التجربة Purpose

تحديد كثافة التربة في الحقل وذلك عن طريق الحصول على وزن التربة الرطبة المستخرجة من حفرة صغيرة في الموقع ذات شكل غير محدد حيث يتم حساب الكثافة بمعرفة حجم الحفرة.

2.9 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (9–1) وهي كما يلي:

1- أدوات مخروط الرمل تتألف من:
قنينة من زجاج أو بلاستيك، قمع معدني ذو صنبور قاعدة معدنية بفتحة وسطية دائرية.

2- علب محكمة الغلق لأخذ العينات.

3- ميزان حساس دقته 0.1 جرام.

4- أدوات حفر التربة مع فرشة تنظيف يدوية.

5- قالب أسطواني مع قاعدة.

6- مسطرة معدنية لمساواة الحافة.

الشكل (9–1): أدوات تجربة الكثافة الحقلية بطريقة الإحلال الرملي

4.9 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن أساس نظرية التجربة هو إيجاد حجم حفرة في تربة الموقع بصورة غير مباشرة حيث يستخدم في هذه الطريقة رمل قياسي منتظم التدرج Uniform Sand لغرض الحصول على كثافة ثابتة له أثناء إجراء التجربة ويفضل أن يكون ماراً من منخل رقم 40 ومحجوزاً على منخل رقم 50.

عليه يكون حجم الحفرة كما يلي:

حجم الحفرة = وزن الرمل المستعمل لملء الحفرة \ كثافة الرمل المستعمل

عليه يمكن حساب الكثافة الرطبة γ_{wet} للتربة بالصيغة التالية:

الكثافة الرطبة γ_{wet} = (وزن تربة الحفرة \ حجم الحفرة).

ويمكن تحديد الكثافة الجافة للتربة γ_{dry} بمعرفة رطوبة التربة GŌ وفق العلاقة التالية:

$$\gamma_{dry} = \gamma_{wet} /(1+G\bar{O})$$

5.9 طريقة العمل Procedure

1- يتم وزن 6000 جرام من الرمل القياسي في القنينة معملياً قبل الخروج إلى الحقل.

2- يسوى سطح تربة الموقع بعمق 5 سنتميتر، وتزال جميع المواد السطحية غير المرغوب فيها في المكان المراد حساب الكثافة الحقلية فيه.

3- توضع القاعدة المفتوحة فوق سطح التربة في المكان المراد حساب الكثافة عنده (الشكل9–2)، وبعد ذلك يتم تثبيت هذه القاعدة بالأرض جيدا من أجل عمل حفرة بقطر الثقب وبعمق الطبقة المدموكة، أما في حالة الأرض الطبيعية فيكون العمق بين 15 إلى 20 سنتميتر.

4- يجمع ناتج الحفرة في العلبة المحكمة الغلق، بعد ذلك توضع القنينة الحاوية على الرمل

سويةً مع القمع ومقلوبا فوق الحفرة ثم يفتح الصنبور لغرض إملاء الحفرة بالرمل (الشكل 9-3).

5- بعد امتلاء الحفرة والقمع بالرمل القياسي يقفل الصنبور وترفع القنينة مع القمع ليتم بعدها وزن الرمل المتبقي في القنينة وكذلك تربة الحفرة عند الرجوع إلى المعمل ثانيةً.

6- تجرى عملية المعايرة معملياً باستخدام قالب ذي حجم قياسي بدلاً من الحفرة حيث أنه من معرفة وزن الرمل في القالب يتم حساب وزن الرمل الذي يملأ المخروط وكذلك كثافته.

6.9 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على تربة الموقع الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (9-1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها وكذلك نتائج الحسابات حيث تفاصيلها كما يلي:

1- عملية المعايرة تساعد في حساب وزن الرمل في القمع وكثافة الرمل:

وزن الرمل في القمع = وزن الرمل في القنينة – وزن الرمل المتبقي – وزن الرمل في القالب.

وزن الرمل في القمع = 6000 – 1187 – 3323 = 1490 جرام.

كثافة الرمل القياسي = وزن الرمل في القالب \ حجم القالب.

كثافة الرمل القياسي = 3323 \ 2230 = 1.49 جرام/سنتميتر^3.

2- حساب وزن الرمل في الحفرة:

وزن الرمل في الحفرة = وزن الرمل في القنينة - وزن الرمل المتبقي - وزن الرمل في القمع.

وزن الرمل في الحفرة = 6000 - 1792 - 1490 = 2718 جرام.

3- حساب حجم الحفرة:

حجم الحفرة = وزن الرمل الذى في الحفرة / كثافة الرمل القياسي.

حجم الحفرة = 2718 \ 1.49 = 1824.2 سنتميتر^3.

4- كثافة التربة في الحقل:

الكثافة الرطبة = وزن التربة المستخرجة \ حجم الحفرة = 3356 \ 1824.2 = 1.84 جرام\ سنتميتر^3.

الكثافة الجافة = الكثافة الرطبة\(1 + ω) = 1.84\(1 + 0.05) = 1.75 جرام\سنتميتر^3.

7.9 ملاحظات عامة General Notes

1- عندما يتم الاختبار على طبقة التأسيس أو تحتها تؤخذ الحفرة بكامل عمق الطبقة المدموكة، بينما اذا كان الاختبار على طبقة الأرض الطبيعية تؤخذ الحفرة بعمق 15 إلى 20 سنتميتر.

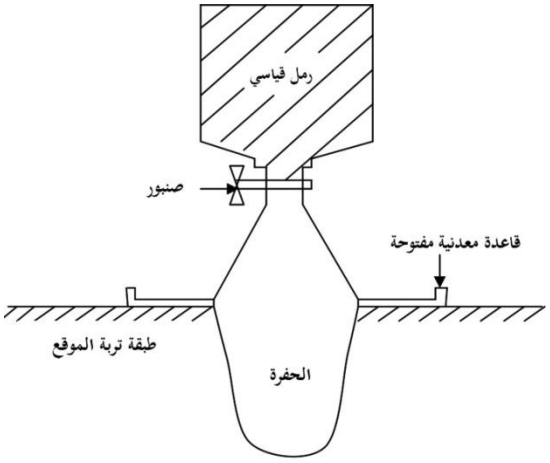
2- يجب تعيين المحتوى المائي للتربة بسرعة حتى لا تفقد التربة رطوبتها، وذلك بتجفيفها في فرن درجة حرارته 105 إلى 110 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة.

3- توجد طرق أخرى لتحديد الكثافة الحقلية وهي:

– طريقة البالون المطاطي (ASTM D – 2167) وتكون مماثلة للمخروط الرملي في عمل الحفرة والوزن الكلي للتربة المنقولة من الحفرة وتحديد محتوى الرطوبة لها، لذلك يكون حجم الحفرة محدداً بواسطة إدخال البالون وملئه بالماء من إناء مدرج فيتم قراءة الحجم مباشرة.

– طريقة جهاز قياس الكثافة النووي الذي يستخدم في الأعمال الكبيرة لتحديد الكثافة الحقلية للتربة.

الشكل (9–2): طريقة استخدام أدوات الإحلال الرملي



الشكل (9-3): العمل الحقلي للتجربة

الجدول (9-1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: حصى طيني Clayey Gravel رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

المعايرة المعملية	القيمة
الوزن الكلي للرمل في القنينة قبل الاستخدام (جرام)	6000
الوزن المتبقي للرمل في القنينة بعد الاستخدام (جرام)	1187
وزن الرمل في القالب (جرام)	3323
حجم القالب (سنتميتر^3)	2230
كثافة الرمل γ_{sand} (جرام\سنتميتر^3)	1.49
وزن الرمل في المخروط (جرام)	1490
الاختبار الحقلي	
الوزن الكلي للرمل في القنينة قبل الاختبار (جرام)	6000
الوزن المتبقي للرمل في القنينة بعد الاختبار (جرام)	1792
وزن الرمل في الحفرة (جرام)	2718
حجم الحفرة (سنتميتر^3)	1824.2
وزن التربة المستخرجة من الحفرة (جرام)	3356
الكثافة الرطبة للتربة في الحقل γ_{wet} (جرام)	1.84
محتوى الرطوبة في الحقل ω (%)	5
الكثافة الجافة للتربة في الحقل γ_{dry} (جرام\سنتميتر^3)	1.75

تجربة رقم 10

الكثافة الحقلية بطريقة القاطع الأسطواني

Field Density by Core Cutter

1.10 المصادر والمواصفات References and Specifications

1- ASTM D2937.

2- BS 1377.

2.10 الغرض من التجربة Purpose

تخمين الكثافة الحقلية الجافة للتربة المتماسكة بطريقة القاطع الأسطواني.

3.10 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (10–1) وهي كما يلي:

1- أدوات القاطع الأسطواني وتشمل:

أسطوانة معدنية حادة الحافة مع حلقة حماية، مطرقة يدوية ساقطة.

2- أدوات حفر مع علبة نماذج أو كيس بلاستيكي لحفظ العينة.

3- آلة رافعة لاستخلاص النماذج وأداة تعديل مستقيمة حادة الحافة.

4- ميزان ذراع بدقة 0.1 جرام ومسطرة قياس دقة 1 ملميتر.

5- أدوات تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

الشكل (10-1): أدوات تجربة الكثافة الحقلية بطريقة القاطع الأسطواني

4.10 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن الفكرة الأساسية في أغلب التجارب المتعلقة بكثافة التربة هي تحديد الطريقة المناسبة لإيجاد حجم عينة التربة المطلوب تخمين كثافتها حيث أن وزن هذه العينة يمكن تحديده بشكل مباشر ، عليه يتم إيجاد مقدار الكثافة من العلاقة التالية:

الكثافة = الوزن / الحجم

تستعمل طريقة القاطع الأسطواني في هذه التجربة لإيجاد الكثافة الكلية للتربة الحقلية حيث يتم غرز أسطوانة قياسية في الموقع لغرض ملئها بالتربة ثم إخراجها وتعديل وجهيها كي تكون هذه التربة بقدر الحجم الداخلي للأسطوانة الذي يمكن حسابه من أبعادها، وكما أشرنا سابقا فان وزن هذه العينة يمكن إيجاده مباشرةً وبالتالي يتم حساب كثافتها اعتمادا على أسلوب غرز وملء الأسطوانة بعينة التربة فان هذه التجربة مناسبة فقط للتربة المتماسكة وغير مناسبة للتربة عديمة التماسك.

إن تخمين المحتوى المائي ω لهذه التربة (تجربة رقم 4) يساعد في حساب الكثافة الجافة γ_d لها بعد أن تم إيجاد كثافتها الكلية γ_t في هذه التجربة، عليه يتم تطبيق العلاقة التالية:

$$\gamma_d = \gamma_t/(1+\omega)$$

5.10 طريقة العمل Procedure

تتضمن التجربة جزءاً معملياً وجزءً حقلياً حيث يمكن توضيحها ضمن الخطوات التالية:

1- قبل الخروج إلى الحقل يتم وزن القاطع الأسطواني لدقة 0.1 جرام. وكذلك قياس أبعاده الداخلية لدقة 1 ملميتر، وتسجيل هذه القياسات.

2- يتم اختيار موقع حقلي مناسب وخالٍ أو قليل المواد العضوية ثم إجراء عملية الحفر للنزول إلى عمق بحدود 30 سنتميتر، ولمساحة بحدود 1 متر مربع مع تسوية سطح التربة.

3- يوضع القاطع الأسطواني على سطح التربة بحيث تكون الحافة الحادة من الأسفل وحلقة الحماية على حافتها العلوية، ويتم إسقاط المطرقة عمودياً وبشكل منتظم على حلقة الحماية من أجل أن تغرز الأسطوانة داخل التربة مع تلافي حركة الأسطوانة أفقياً (الشكل 10–2)، تستمر هذه العملية إلى حين وصول الحافة العليا لحلقة الحماية مع مستوى التربة.

4- تجرى عملية الحفر حول الأسطوانة إلى حين الوصول تحت مستوى الحافة السفلى لها مع تلافي تحريكها أثناء هذه العملية، يتم إخراج الأسطوانة وهي مملوءة بعينة التربة ثم وضعها

بالعلبة أو الكيس البلاستيكي وإغلاقها بإحكام.

5- تتم العودة إلى المعمل حيث توزن عينة التربة مع الأسطوانة بعدها تستخلص العينة من الأسطوانة ويتم أخذ عينات لتخمين المحتوى المائي لها (تجربة رقم 4).

6.10 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على تربة الموقع الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (10-1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات حيث تفاصيلها للنقطة رقم (1) كما يلي:

1- إن وزن القاطع الأسطواني W_c = 1236 جرام. وأن الأبعاد الداخلية له هي:

القطر D = 10 سنتميتر، الارتفاع H = 13 سنتميتر

عليه يكون حجم القاطع الذي يمثل حجم عينة التربة هو:

$$V_t = \pi D^2 x H/4 = 3.14(10)^2 x 13/4 = 1020.5\ cm^3$$

2- إن وزن القاطع مملوء بعينة التربة = 2991.3 جم، فيكون وزن عينة التربة هو:

$$W_t = 2991.3 - 1236 = 1755.3\ g.$$

3- تكون الكثافة الحقلية الكلية لهذه التربة كما يلي:

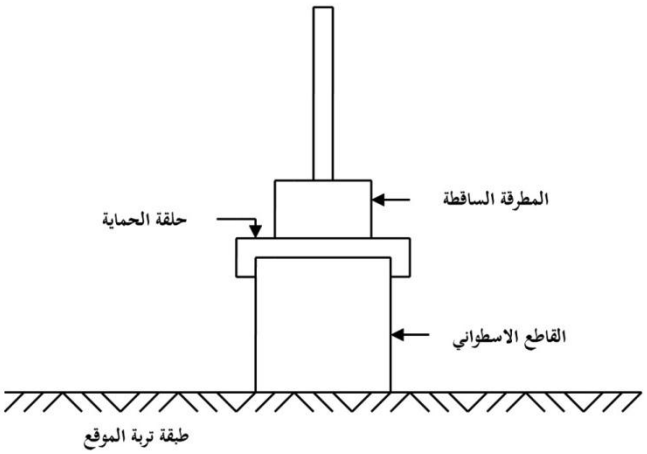
$$\gamma_t = W_t/V_t = 1755.3/1020.5 = 1.72\ g/cm^3$$

4- لحساب الكثافة الحقلية الجافة لهذه التربة بعد تخمين المحتوى المائي لها تطبق العلاقة التالية:

$$g/cm^3 62) = 1.6\gamma_d = \gamma_t/(1+\omega) = 1.72/(1+0.0$$

5- يكون مقدار متوسط الكثافة الحقلية الجافة للنقطتين هو:

$$(\gamma_d)_{av.} = (1.62 + 1.60)/2 = 1.61\ g/cm^3$$



الشكل (10-2): العمل الحقلي للتجربة

7.10 ملاحظات عامة General Notes

يتم مقارنة قيمة الكثافة الجافة لكلتا النقطتين وعلاقتهما مع بعضهما موقعياً وتأثير مقدار المحتوى المائي عليهما إضافة إلى طبيعة ونوع التربة وكذلك تأثير المواد العضوية على هذه القيم والمقادير النموذجية للكثافة الحقلية الجافة للتربة التي يمكن أن تتراوح بين 1.5 إلى 1.8 جرام/سنتميتر^3 حيث تقل هذه القيم عند احتواء التربة على المواد العضوية.

الجدول (10–1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: طين رملي Sandy Clay رقم النقطة: 1 و 2

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

D: 13 سنتميتر H: 10 سنتميتر ارتفاع القاطع قطر القاطع

رقم النقطة	1	2
وزن القاطع (جرام)	1236	1236
وزن القاطع + العينة (جرام)	2991.3	2931.7
وزن العينة (جرام)	1755.3	1695.7
حجم القاطع (سنتميتر^3)	1020.5	1020.5
الكثافة الكلية (جرام/سنتميتر^3)	1.72	1.66
المحتوى المائي (%)	6	4
الكثافة الجافة (جرام/سنتميتر^3)	1.62	1.60

تجربة رقم 11

الكثافة النسبية

Relative Density

1.11 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- ASTM D4253 (Minimum Index Density).

2- ASTM D4254 (Maximum Index Density).

2.11 الغرض من التجربة Purpose

هو تعيين الكثافة النسبية للتربة الرملية التي يمكن أن تتسرب خلالها المياه حيث أن تجارب ألدمك الديناميكي لا تعطى لها علاقة محددة بين نسبة الرطوبة والكثافة وتكون اكبر كثافة لها يمكن تخمينها بالدمك الديناميكي اقل من تلك المخمنة بطريقة الهز.

3.11 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (11–1) وهي كما يلي:

1- قالب أسطواني قياسي بحجم 2830 سنتميتر^3.

2- قاعدة الأوزان Surcharge Base Plate بمختلف القياسات مع المقبض.

3- عداد قياس الإزاحة العمودية لمستوى سطح التربة في القالب (ارتفاع التربة).

4- طاولة هزازة Vibrating Table من الصلب كما موضح في الشكل (11–1) تتصل بها قاعدة مقاسها 67 × 67 ملميتر ترتكز على مجموعة من اللوالب وتتحرك بهزاز

كهرومغناطيسي حيث يفضل أن يكون الهزاز من النوع معتدل الضجيج وبوزن اكبر من 45.4 كيلوجرام.

5- مناخل مقاس 75ملميتر ، 37.5 ملميتر ، 19ملميتر ، 9.5ملميتر ، رقم4 ورقم 200.

6- فرن كهربائي يمكن تثبيت الحرارة بين 105 – 110 م°.

7- ساعة توقيت بتدريج الدقائق والثواني .

8- ميزان ذو كفة مسطحة قابل للحركة بسعة 10 كيلوجرام ودقة لا تقل عن 5 جرام.

9- أقماع بقطر 130 ملميتر و250 ملميتر وطول 150 ملميتر ومزود بحافة تعليق في الإناء.

4.11 النظرية والتعريف Theory and Definition

الكثافة النسبية هي درجة دمك التربة بالنسبة لأقصى وأدنى درجات ألدمك الممكنة معمليا وتعرف بالعلاقة آلاتية:

$$D_r\ (\%) = ((e_{max} - e)/\ (e_{max} - e_{min}))\ x100$$

حيث أن:

D_r: الكثافة النسبية.

e: نسبة الفراغات للتربة الطبيعية.

e_{max} : نسبة الفراغات القصوى للتربة (معملياً).

e_{min}: نسبة الفراغات الصغرى للتربة (معملياً).

الشكل (11–1): معدات وأدوات تجربة الكثافة النسبية

لصعوبة تحديد نسبة الفراغات في التربة فأنه يتم حساب الكثافة النسبية كما يلي:

$$D_r\ (\%) = \gamma_{dmax}\ (\gamma_d - \gamma_{dmin})/\gamma_d(\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})\ x\ 100$$

حيث أن:

γ_{dmax}: الكثافة الجافة القصوى للتربة (معملياً).

γ_{dmin}: الكثافة الجافة الصغرى للتربة (معملياً).

γ_d: الكثافة الجافة للتربة في الموقع.

تستخدم الكثافة النسبية في حساب نسبة ألدمك ولتقدير قدرة التحمل للتربة

والجدول (11-1) يبين قيم الكثافة النسبية مع حالة التربة.

الجدول (11-1): قيم الكثافة النسبية للتربة

حالة التربة	الكثافة النسبية (%)
رخوة جداً	15-10
رخوة	35-15
متوسطة الكثافة	65-35
كثيفة	85-65
كثيفة جدا	100-85

5.11 طريقة العمل Procedure

طريقة الحصول على أعلى كثافة (Maximum Density)

1- تجهز العينات حسب اكبر حبيبة في التربة وفقا للجدول (11–2).

2- تخلط العينة جيدا بعد تجفيفها بالفرن ثم يملا القالب بالتربة باستخدام القمع.

3- توضع قاعدة الأوزان على التربة وتدار يمينا ويسارا لتسوية السطح ثم يفصل قابض القاعدة.

4- يثبت القالب على المنضدة الهزازة وتوضع الأوزان المناسبة فوق سطح التربة مع تثبيت عداد قياس الإزاحة العمودية (الشكل 11–2).

5- تجهز الطاولة الهزازة لتكون بتردد 60 هيرتز واهتزاز راسي مزدوج مقداره 0.33 ملميتر أو تردد 50 هيرتز واهتزاز راسي مزدوج مقداره 0.48 ملميتر.

6- تشغل الطاولة الهزازة لمدة 8 دقائق في التردد 60 هيرتز أو لمدة 12 للتردد 50 هرتز.

7- يفصل القالب ثم يقاس وزنه مع التربة ومنه يحسب وزن التربة.

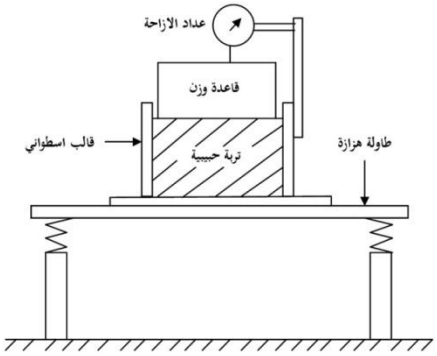
8- تكرر العملية عدة مرات حتى تكون الكثافة القصوى للمحاولات متقاربة

(حوالي 2%).

9- يأخذ المتوسط لهذه القيم.

الجدول (11-2): الوزن المطلوب لعينة التربة

مقاس أكبر حبيبة (ملميتر)	الوزن المطلوب (كيلوجرام)	مقاس القالب (سنتميتر^3)
75	34	14200
38	34	14200
19	11	2830
9.5	11	1830
4.75 أو اقل	11	2830



الشكل (11–2): تثبيت معدات وأدوات التجربة

ب) طريقة الحصول على اقل كثافة (Minimum Density)

1- تجهز العينات حسب اكبر حبيبة في التربة وفقا للجدول (11–3).

2- تخلط العينة جيدا بعد تجفيفها بالفرن ثم يملا القالب بالتربة باستخدام الأدوات الموضحة بالجدول مع ملاحظة عدم دمك التربة إلى حوالي 25 ملميتر أعلى من سطح القالب للحصول على اكبر نسبة من الفراغات في التربة.

3- تزال التربة الزائدة بحذر شديد بواسطة مسطرة حديدية.

4- يحسب وزن القالب مع التربة ومنه يحسب وزن التربة.

5- تكرر العملية عدة مرات حتى تكون الكثافة القصوى للمحاولات متقاربة (حوالي 2%).

الجدول (11-3):الوزن المطلوب لعينة التربة

مقاس اكبر حبيبة (ملميتر)	الوزن المطلوب (كيلوجرام)	حجم القالب (سنتميتر^3)	أداة وضع التربة
75	34	14200	مجرفة
38	34	14200	مجرفة
19	11	2830	مجرفة
9.5	11	1830	قمع بفوهة قطر 45.3 ملميتر
4.75 أو اقل	11	2830	قمع بفوهة بقطر 12.7 ملميتر

6.11 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على تربة الموقع الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (11–4) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها وكذلك نتائج الحسابات حيث تفاصيلها للنقطة رقم (1) هي كما يلي:

1- تحسب الكثافة الجافة الصغرى للتربة γ_{dmin} كالاتي:

$$(\gamma_d)_{min} = m_s/V_c = 4020 / 2830 = 1.42\ g/cm^3$$

2- تحسب الكثافة الجافة القصوى للتربة γ_{dmax} والتي تساوي وزن التربة على حجم القالب وهي كما يلي:

$$(\gamma_d)_{max} = m_s/V_s = 4020 / 2233 = 1.80\ g/cm^3$$

حيث أن:

m_s: وزن التربة الجافة.

V_c: الحجم المعاير للقالب.

V_s: حجم التربة بعد الاهتزاز $(V_s=V_c - (R_i - R_f)\ x\ A)$

R_i: القراءة ابتدائية لمقياس ارتفاع الرمل في القالب قبل إجراء الاهتزاز.

R_f: القراءة النهائية لمقياس ارتفاع الرمل في القالب بعد إتمام الاهتزاز.

A: مساحة مقطع القالب.

3- تخمن الكثافة الجافة γ_d للتربة في الموقع (تجربة رقم 9).

$$\gamma_d = 1.62\ g/cm^3$$

4- تحسب الكثافة النسبية كما يلي:

$$D_r = \gamma_{dmax}\ (\gamma_d - \gamma_{dmin})/\gamma_d(\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})$$

$D_r = 1.8(1.62 - 1.42) / 1.62(1.8 - 1.42) = 0.585 = 58.5\ \%$

الجدول (11-4): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: تربة رملية Sandy Soil رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

رقم النقطة	1	2	3
وزن التربة الجافة m_s (جرام)	4020	4075	4132
الحجم المعاير للقالب V_c (سنتميتر^3)	2830	2830	2830
حجم التربة بعد الاهتزاز V_s (سنتميتر^3)	2233	2251	2270
الكثافة الجافة الصغرى للتربة γ_{dmin}(جرام\سنتميتر^3)	1.42	1.44	1.46
الكثافة الجافة القصوى للتربة γ_{dmax} (جرام\سنتميتر^3)	1.80	1.81	1.82
الكثافة الجافة للتربة في الموقع (جرام\سنتميتر^3)	1.62	1.62	1.62
الكثافة النسبية (%)	58.5	54.3	49.9
متوسط الكثافة النسبية (%)	54.2		

7.11 ملاحظات عامة General Notes

1- تجرى التجربة للتربة التي تحتوي على حبيبات مارة من منخل مقاس 0.063 ملميتر لا تزيد نسبتها على 12% وزناً حيث تستخدم طريقة الاهتزاز للحصول على أكبر كثافة وطريقة الصب للحصول على اقل كثافة.

2- اعتماداً على النتيجة النهائية وبالرجوع للجدول (11-1) تعتبر التربة متوسطة الكثافة.

تجربة رقم 12

نفاذية التربة بطريقة الضغط الثابت

Soil Permeability by Constant Head Method

1.12 المصادر والمواصفات References and Specifications

1- AASHTO T215-66.

2- ASTM D2434-68.

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.12 الغرض من التجربة Purpose

تخمين معامل نفاذية التربة الخشنة الحبيبات بطريقة الضغط الثابت ثم تحديد درجة النفاذية لها.

3.12 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات موضحة في الشكل (12–1) وهي كما يلي:

1- جهاز النفاذية ذو الضغط الثابت يتكون من:
مجموعة الخلية، أنابيب قياس عمود ضغط الماء، لوح جانبي ذو تدريج مليمتري، أنابيب مطاطية، حوض ماء علوي شفاف.

2- ساعة توقيت بدقة 1 ثانية ومحرار لقياس درجة حرارة الماء.

3- أسطوانة زجاجية سعة 500 إلى 1000 مللتر.

النظرية والتعريف Theory and Definition4.12

تعتبر نفاذية التربة من المحددات المهمة للتربة وخاصة في المنشآت المائية كالسدود وقنوات الري والمنشآت الأخرى التي يكون الماء فيها عاملاً أساسياً ومهماً في توليد القوى الناتجة من الضغط سواءً أكان هذا الضغط استقراراً أو ناتجاً من الجريان، إن معامل نفاذية التربة هو المعبر المباشر لهذا المحدد والذي يقل مقداره بزيادة نعومة التربة حيث يكون بقيمته القصوى في التربة الحصوية وقيمته الصغرى في التربة الطينية (الجدول 12–1)، ويمكن تحديد درجة نفاذية التربة اعتماداً على معامل نفاذيتها.

الجدول (12–1): معامل ودرجة النفاذية لبعض أنواع التربة

نوع التربة	معامل النفاذية (سنتميتر/ثانية)	الدرجة النسبية للنفاذية
حصى خالي من التربة الناعمة.	1 إلى 10	عالية
رمل خالي من التربة الناعمة .خليط الحصى والرمل.	3-10 إلى 1	متوسطة
رمل ناعم، غرين.	5-10 إلى 3-10	واطئة
خليط الرمل والغرين والطين.	7-10 إلى 5-10	واطئة جداً
طين متجانس.	أقل من 7-10	واطئة جداً إلى مصمت عملياً

الشكل (12–1): أدوات تجربة النفاذية – الضغط الثابت

إن قانون دارسي هو الأساس الذي يعتمد عليه في تحليل جريان الماء في التربة سواءٌ من الجانب النظري أو الجانب العملي، وتعتبر تجربة نفاذية التربة واحدة من التطبيقات الأساسية التي يعتمد في التربة تتناسب طردياً v عليها في هذا التحليل، وحسب قانون دارسي فأن سرعة جريان الماء: i مع الانحدار الهيدروليكي $v = k\ i$ يمثل معامل نفاذية التربة وله مقدار ثابت لنوع التربة المحدد k حيث أن لعينة التربة: A يمكن حسابه من معرفة مساحة المقطع العرضي q إن مقدار التصريف $q = v\ A$ خلال Q أثناء التجربة من قياس حجم الماء المتدفقq كما أنه يمكن حساب مقدار التصريف الناتج (الشكل 12–2): t فترة زمنية مقدارها $q = Q/t$ عليه فإن:

$$k\ i\ A = Q/t$$

فيكون معامل النفاذية:

$$k = Q/i\ At$$

إلى طول مسار h يمثل النسبة بين الفقدان في عمود الضغطi وحيث أن الانحدار الهيدروليكي فيكون معامل النفاذية: L الجريان

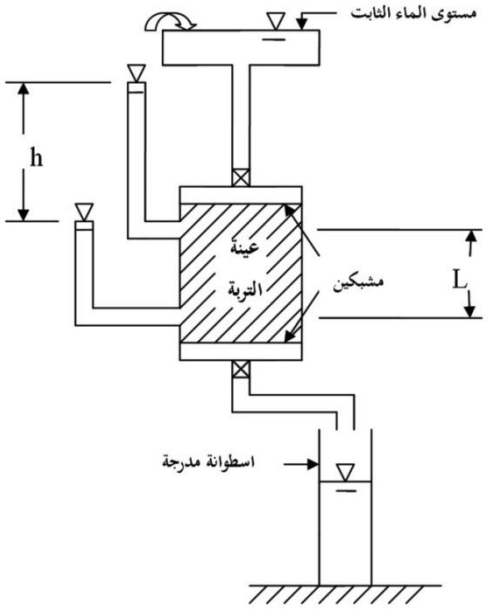
$$k = Q\ L/Aht$$

إن معامل نفاذية التربة المتجانسة تعتمد على لزوجة الماء، فعند زيادة درجة حرارة الماء تقل قيمة اللزوجة فتزداد قيمة معامل النفاذية والعكس صحيح أيضاً، عليه تم الاعتماد بأن الجريان يكون بدرجة حرارة قياسية 20^{o} م وبالتالي يتم تصحيح قيمة معامل نفاذية التربة

عند هذه الدرجة ليكون (k_{20}) وفق العلاقة التالية:

$$k_{20^oC}=k_{T^oC}(\eta_{T^oC}/\eta_{20^oC})$$

حيث أن (η_{T^oC}/η_{20^oC})تمثل النسبة بين لزوجة الماء عند درجة حرارة التجربة إلى لزوجته عند الدرجة القياسية 20^o م (جدول 12–4).



الشكل (12–2): منظومة جهاز النفاذية ذو الضغط الثابت

5.12 طريقة العمل Procedure

1- يفضل تحضير عينة التربة في الخلية الأسطوانية الخاصة بها في الجهاز قبل 48 ساعة من موعد التجربة وإجراء عملية جريان الماء عدة مرات خلال هذه الفترة لضمان أن تكون العينة مشبعة تماماً وعدم وجود أي فقاعات هوائية في المنظومة المتكاملة (الشكل 12–2).

2- يتم وزن مجموعة الخلية التي تتضمن: أسطوانة زجاجية بقاعدتين معدنية عليا وسفلى، مشبكين، يتم تثبيت الحلقة المطاطية والقاعدة السفلى w_1 دائرية، حلقتين مطاطية، ويمثل هذا الوزن وإدخال الأسطوانة الزجاجية ثم وضع أحد المشبكين الدائرية.

3- تستعمل ملعقة مناسبة لتجميع عينة التربة الخشنة مثل الرمل في الأسطوانة مع إجراء عملية الدمك عن طريق الاهتزاز أو أي طريقة أخرى مناسبة، وعند الوصول إلى حوالي ثلثي طول الأسطوانة يتم إدخال المشبك الدائري الآخر ليستقر بصورة متماسة تماماً مع العينة ثم تثبيت الحلقة المطاطية الأخرى والقاعدة العليا، توزن المجموعة كاملةً ليمثل هذا الوزن للعينة w_2 ويقاس طول مسار الجريان L.

4- يتم البدء بعملية جريان الماء في المنظومة حيث يستوجب المحافظة على تثبيت مستوى الماء في الخزان العلوي لتجهيز الماء أثناء عملية الجريان ثم يجمع حجم معين من الماء الخارج في أسطوانة مدرجة حيث يتم تشغيل ساعة التوقيت من لحظة بدء تجميع الماء ويحسب الوقت لغاية لحظة إيقاف تجميع الماء في الأسطوانة، يتم قراءة الفرق بين عمودي ضغط الماء (h) في أنبوبي القياس المرتبطين عند أعلى وأسفل العينة.

5- تكرر الخطوة رقم (4) عدة مرات بتغيير الفرق بين عمودي ضغط الماء وهذا يعني تغيير مقدار التصريف لجريان الماء في المنظومة وتقاس درجة حرارة الماء لكل مرة.

6.12 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على التربة الموصفة ضمن البيانات الخاصة بالعينة (الجدول 12−2) وكانت نتائج الحسابات التي أجريت على القراءات إلى تم الحصول عليها مبينة في الجدول (12−3) حيث أن تفاصيلها للمحاولة رقم (1) كما يلي:

1- مساحة مقطع العينة هو:

$$A = \pi D^2/4 = 3.14\ (6.35)^2/4 = 31.67\ cm^2$$

2- يتم حساب معامل النفاذية للمحاولة رقم (1) من القراءات التي تم تسجيلها في الجدول (12−3) حيث تطبق العلاقة التالية:

$$k = Q\ L/Aht$$

$$k = (305)\ (13.2)/(31.67)(60)(60) = 0.035\ cm/sec$$

3- بعد حساب معامل النفاذية لبقية المحاولات يتم إيجاد القيمة المتوسطة لها :

$$\text{Average } k = (0.035+0.037+0.034)/3 = 0.035\ cm/sec$$

4- يتم استخراج مقدار (η_{T^oC}/η_{20^oC}) لدرجة حرارة الماء في التجربة وهي 25 ^{0} م حيث يساوي 0.889 (جدول 12− 4).

5- يكون مقدار معامل النفاذية لهذه التربة عند الدرجة القياسية هي:

$$k_{20^oC} = k_{T^oC}(\eta_{T^oC}/\eta_{20^oC})$$

$$k_{20^oC} = (0.035)(0.889) = 0.031\ cm/sec$$

7.12 ملاحظات عامة General Notes

أن مقدار معامل نفاذية التربة التي تم تخمينها للمحاولات الثلاثة كانت متقاربة مع بعضها وتقع ضمن نفس المدى حيث كان المتوسط لها = 0.031 سنتميتر/ثانية، وعليه فأن درجة نفاذيتها متوسطة وتمثل تربة رملية خالية من النواعم (الجدول 12–1).

تفاصيل النتائج

وصف التربة: رمل منتظم Uniform Sand رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

الجدول (12–2): البيانات الخاصة بعينة التربة

الوصف	القيمة
حجم العينة V (سنتميتر^3)	418
الوزن النوعي G	2.66
وزن مجموعة الخلية W_1 (جرام)	238.4
وزن (العينة + مجموعة الخلية) W_2 (جرام)	965.3
الوزن الجاف للعينة W_s (جرام)	726.9
الكثافة الجافة للعينة γ_d (جرام/سنتميتر^3)	1.74
نسبة الفجوات e	0.53

الجدول (12–3):القراءات ونتائج الحسابات

رقم المحاولة	1	2	3
حجم ماء التصريف Q (سنتمتر^3)	305	375	395
الفترة الزمنية t (ثانية)	60	60	60
درجة حرارة الماء C^0	25	25	25
الفقدان في عمود الضغط h (سنتمتر)	60	70	80
قطر العينة D (سنتمتر)	6.35	6.35	6.35
طول مسار الجريان L (سنتمتر)	13.2	13.2	13.2
مساحة مقطع العينة A (سنتمتر^2)	31.67	31.67	31.67
معامل النفاذية k(سنتمتر/ثانية)	0.035	0.037	0.034

الجدول (12-4): علاقة درجة حرارة الماء مع النسبة η_{T^oC}/η_{20^oC}

درجة حرارة الماء C^o	η_{T^oC}/η_{20^oC}	درجة حرارة الماء C^o	η_{T^oC}/η_{20^oC}
15	1.135	23	0.931
16	1.106	24	0.910
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

تجربة رقم 13

نفاذية التربة بطريقة الضغط المتغير

Soil Permeability by Falling Head Method

1.13 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

2- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.13 الغرض من التجربة Purpose

تخمين معامل نفاذية التربة الناعمة الحبيبات مثل الرمل الناعم والغرين والطين بطريقة الضغط المتغير ثم تحديد درجة النفاذية لها.

3.13 المعدات والأدوات Equipment

1- جهاز النفاذية ذو الضغط المتغير (الشكل13-1) الذي يتكون من:

- خلية العينة وهي أسطوانة مصنوعة من البلاستيك السميك الشفاف مع قرصين مساميين.
- لوح تدرجات جانبي ذي قياس مليمتري، قاعدة لتثبيت الخلية، قمع مع أنبوب مطاطي.
- أنبوبة عمود ضغط الماء شفافة زجاجية أو بلاستيكية.

2- ساعة توقيت ومسطرة مدرجة.

3- محرار لقياس درجة حرارة الماء بدقة 1م°.

4- ميزان حساس تبلغ دقته 0.1 جرام.

5- فرن تجفيف تثبت درجة حرارته بين 105 – 110 م°

6- مدق ذي نهاية من الخشب أو المطاط.

4.13 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن مبدأ جريان الماء في التربة تم توضيحه في التجربة السابقة حيث يمكن تخمين معامل نفاذية التربة الخشنة الحبيبات اعتماداً على قانون دارسي وفق العلاقة التالية:

$$k = Q/i\ At$$

كذلك يمكن الاعتماد على نفس القانون لتخمين معامل نفاذية التربة الناعمة الحبيبات باستخدام منظومة الجريان المبينة في الشكل (13–2) وفق ما يلي:

$$k = (aL/At) \ln (h_o/h_1) = 2.3\ (aL/At) \log (h_o/h_1)$$

حيث أن:

a: مساحة المقطع العرضي لأنبوبة عمود ضغط الماء.

L: طول العينة بمساحة مقطع عرضي A.

h_0: ارتفاع عمود ضغط الماء عند زمن صفر.

h_1: ارتفاع عمود ضغط الماء بعد مرور فترة زمنية.

t: الفترة الزمنية اللازمة لتغيير عمود ضغط الماء h_o إلى h_1 .

الشكل (13-1): أدوات تجربة النفاذية – الضغط المتغير

5.13 طريقة العمل Procedure

1- يقاس القطر الداخلي للأسطوانة ليمثل قطر العينة وكذلك قطر أنبوبة قياس ضغط الماء.

2- توزن الأسطوانة فارغة مضافا إليها وزن السدادتين والأقراص المسامية.

3- يوضع القرص المسامي والسدادة السفليان في الأسطوانة.

4- تجفف التربة المراد اختبارها في الفرن وتترك لتبرد ثم يتم تفتيتها اذا كانت متماسكة بالمدق

وتوضع في القالب على طبقات كل طبقة بسمك 25 ملميتر، مع الدمك وبعدد دقات متساوية.

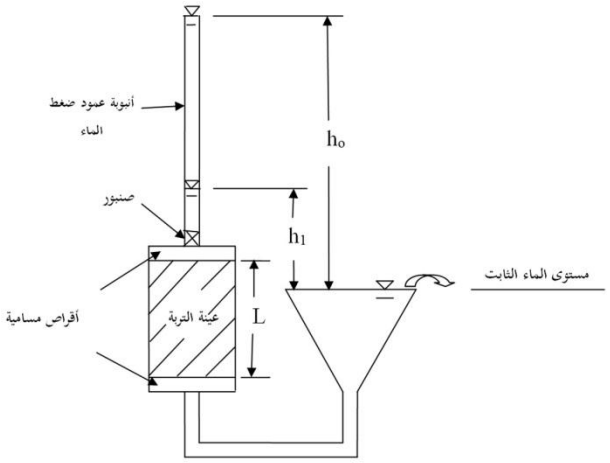
5- يوضع القرص المسامي العلوى والسدادة العلوية وتوزن الأسطوانة والعينة ثم يقاس طولها (L).

6- يوضع الجهار ويثبت كما في الشكل (13-1) حيث يكون لوح التدريجات بجانب أنبوبة عمود ضغط الماء اذا كانت هذه الأنبوبة غير مدرجة وذلك من أجل تسجيل منسوب الماء عند أوقات مختلفة ثم يسمح بجريان الماء بشكل أولي لغرض أن تكون العينة مشبعة تماماً.

7- يسجل منسوب عمود ضغط الماء h_0 عند فترة زمنية $t_o = 0$ ثم يسمح بجريان الماء ليصل عمود ضغط الماء إلى المنسوب h_1 خلال فترة زمنية = t_1 (الشكل 13−2)، تسجل درجة حرارة الماء.

8- تكرر الخطوة (7) عدة مرات مستخدما نفس التربة ونفس درجة الدمك.

9- تكرر الخطوات من (4) إلى (9) عدة مرات لدرجات دمك مختلفة من نفس التربة.



الشكل (13-2): منظومة جهاز النفاذية ذو الضغط المتغير

6.13 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن البيانات الخاصة بالعينة (الجدول 13–1) حيث أن القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات مبينة في الجدول (13–2) التي تفاصيلها للمحاولة رقم (1) كما يلي:

1- يحسب معامل النفاذية (k) من المعادلة:

$$k = 2.3 ((a\ L)/ (At)) \log_{10} (h_0/h_1)$$

$$k = 2.3 ((1.71x11.6) / (81.1x54.1)) \log_{10} (51.1/24.3) = 0.00336 \text{ cm/sec}$$

2– تسجل البيانات المتعلقة بعينة التربة بالجدول (13–1).

3- يحسب متوسط معامل النفاذية للمحاولات الثلاثة ويتم تصحيح مقداره للدرجة القياسية حيث أن قيمة (η_{T^oC}/η_{20^oC}) عند درجة حرارة الماء في التجربة 21 م^0 هي 0.976 (جدول 12-4):

$$k_{av.} = (0.00336 + 0.00332 + 0.00328) = 0.00332 \text{ cm/sec}$$

$$k_{20^oC} = k_{T^oC} (\eta_{T^oC}/\eta_{20^oC}) = 0.00332 \times 0.976 = 0.00324 \text{ cm/sec}$$

7.13 ملاحظات عامة General Notes

1- إن نموذج التربة المستخدم في الاختبار لا يمكن أن ينطبق تماماً مع ظروف التربة في الحقل حتى وان كان نموذجاً غير مخلخل، إضافةً إلى أن انزلاق وجريان الماء على جوانب الخلية الحاوية للنموذج وعليه فأن مقدار معامل النفاذية المستخرج بهذه التجربة ربما يختلف عن المقدار الحقيقي حيث أن التربة الحقلية تختلف في مساميتها وانضغاطها في جميع الاتجاهات وبالتالي لا يمكن الحصول على نتائج مؤكدة 100 %.

2- ربما يكون عمود ضغط الماء h في الحقل مختلفا عنه في المعمل حيث يكون غالبا أكبر نسبياً مما يسبب انجراف المواد الناعمة في الحدود الجانبية للوعاء مما يؤدي إلى نقصان مقدار معامل النفاذية k.

تفاصيل النتائج

وصف التربة: رمل ناعم منتظم Uniform Fine Sand رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: .....التاريخ: .....

الجدول (13-1): البيانات الخاصة بعينة التربة

الوصف	القيمة
حجم العينة V (سنتميتر^3)	944.0
الوزن النوعي G	2.61
وزن مجموعة الخلية W_1 (جرام)	1525.1
وزن (العينة + مجموعة الخلية) W_2 (جرام)	3074.9
الوزن الجاف للعينة W_s (جرام)	1549.8
الكثافة الجافة للعينة γ_d (جرام/سنتميتر^3)	1.64
نسبة الفجوات e	0.59

الجدول (13–2): القراءات ونتائج الحسابات

رقم المحاولة	1	2	3
قطر العينة D (سنتميتر)	10.2	10.2	10.2
طول مسار الجريانL (سنتميتر)	11.6	11.6	11.6
مساحة مقطع العينة $A = \pi D^2 \setminus 4$ (سنتميتر^2)	81.1	81.1	81.1
ارتفاع عمود ضغط الماء h_0 (سنتميتر)	51.1	51.1	51.1
ارتفاع عمود ضغط الماء h_1 (سنتميتر)	24.3	24.3	24.3
مساحة مقطع الأنبوبة a (سنتميتر^2)	1.71	1.71	1.71
الفترة الزمنية t (ثانية)	54.1	54.7	55.3
معامل النفاذية k (سم/ثانية)	0.00336	0.00332	0.00328
متوسط معامل النفاذية.k_{av} (سنتميتر/ثانية)	0.00332		
القيمة المصححة لمعامل النفاذية k_{20^o} (سنتميتر/ثانية)	.003240		

تجربة رقم 14

انضمام التربة: الجزء ألأول

Soil Consolidation: Part I

1.14 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T216- 66

2- ASTM D2435-70

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.14 الغرض من التجربة Purpose

تجرى هذه التجربة على التربة الطينية حيث يتضمن جزئها الأول إيجاد معامل الانضمام C_v لها.

3.14 المعدات والأدوات Equipment

1- مجموعة أدوات الانضغاط (الشكل 14–1): آلة الانضغاط ، خلية العينة ، ذراع التحميل.

2- عداد قراءة الإزاحة العمودية دقة 0.01 ملميتر. وساعة توقيت دقة 1 ثانية .

3- آلة تحضير العينة مع منشار خاص للتعديل.

4- أدوات تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

الشكل (14–1): آلة وأدوات تجربة انضمام التربة

4.14 النظرية والتعريف Theory and Definition

إن الانضمام هو ظاهرة فيزياوية للتربة ذات النفاذية الضعيفة (الطين clay) ويمثل عملية تقارب حبيباتها الصلبة وطرد لجزء من ماء الفجوات، ويحدث هذا عندما تكون هذه التربة في الشروط التالية:

1- أن تكون التربة في حالة الإشباع التام.

2- عندما تتعرض التربة إلى ضغط خارجي.

3- هنالك منفذ لتسرب ماء الفجوات محاذي للطبقة الطينية.

إن انضمام التربة هو دالة مباشرة لعاملين رئيسين هما الضغط المسلط والفترة الزمنية المحسوبة من لحظة تسليط هذا الضغط، ويكون مقدار هذا التصلب معتمداً على مقدار هذا

الضغط إضافةً إلى خواص التربة المتعلقة بقابليتها على الانضغاط ، ولتخمين هذه الخواص يتم إجراء تجربة الانضمام أحادي البعد معملياً على عينة من التربة الطينية المراد تحديد خواصها.

إن الفكرة الأساسية لهذه التجربة هي تسليط ضغط عمودي على عينة تربة طينية مشبعة توضع داخل حلقة معدنية صلبة لا يحدث فيها تشوه عرضي نتيجةً لعملية الانضمام حيث يكون التشوه العمودي يمثل التغيير في سمك العينةΔH كدالة مباشرةً للتغير في الضغط المسلط Δp والفترة الزمنية t:

$$\Delta H \alpha t, \Delta p$$

يتعلق الجزء الأول من هذه التجربة بتحديد العلاقة بين التغيير في سمك العينة والفترة الزمنية تحت مقدار ثابت ومحدد للضغط المسلط وبالتالي تخمين خاصية التربة المتعلقة بتأثير الفترة الزمنية وتمثل هذه الخاصية معامل الانضمام C_v coefficient of consolidation حيث يتم أيجاده من استثمار نتائج الجزء الأول من التجربة هذه، وهنالك طريقتين لاستثمار هذه النتائج:

إن الطريقة الأولى تتم برسم العلاقة بين الجذر التربيعي للفترة الزمنية (المحور الأفقي) وقراءة العداد التي تمثل التغيير في سمك العينة (المحور العمودي) ويمكن حساب معامل الانضمام C_v

من العلاقة التالية:

$$C_v = T_v d^2/t_{90}$$

حيث أن عامل الوقت Coefficient of consolidation T_v يساوي 0.848 , t_{90} يمثل الفترة الزمنية اللازمة إلى 90 % من انضمام العينة والتي يتم إجادها من الرسم.

أما الطريقة الثانية فتتم برسم العلاقة بين لوغاريتم الفترة الزمنية (المحور الأفقي) وقراءة العداد التي تمثل التغيير في سمك العينة (المحور العمودي) ويمكن حساب معامل الانضمام C_v من العلاقة التالية:

$$C_v = T_v d^2/t_{50}$$

حيث أن عامل الوقت Coefficient of consolidation T_v يساوي 0.196, t_{50} يمثل الفترة الزمنية اللازمة إلى 50 % من انضمام العينة والتي يتم إيجادها من الرسم.

إن تأثير العامل الزمني له علاقة بطريقة تصريف ماء الفجوات من العينة حيث يمكن أن تحاط العينة من الأعلى والأسفل بقرصين مسامية وعليه يكون صرف ماء الفجوات إلى الأعلى والأسفل (صرف ثنائي الاتجاه) وطول مسار التصريف هو نصف سمك العينة(d/2)، أما إذا كانت العينة محاطة بقرص مسامي من الأعلى فقط وتكون مصمتة من الأسفل يكون تصريف ماء الفجوات إلى الأعلى فقط (أحادي الاتجاه) وطول مسار الصرف هو السمك الكلي للعينة (d) باعتبار أن سمك العينة هو d لكلا الحالتين.

5.14 طريقة العمل Procedure

إن خطوات عمل هذه التجربة تكون شاملة لكلا جزئيها الأول هذا والثاني في التجربة اللاحقة، هنالك بعض الفقرات التي تتعلق فقط بهذا الجزء وفقرات أخرى تتعلق فقط بجزئها الثاني ويمكن توضيح جميع خطواتها كما يلي:

1- يستخلص نموذج حقلي غير مخلخل من التربة الطينية المطلوب إجراء هذه التجربة عليها حيث يمكن غرز الحلقة الصلبة الخاصة بخلية الفحص للحصول على العينة المطلوبة بحيث يكون سمكها في هذه الحلقة مناسباً كي يسمح بوضع القرصين المسامية تحت وجهها السفلي وفوق وجهها العلوي ثم يتم قياس السمك H_o والقطر D للعينة وهي داخل الحلقة.

2- توزن الحلقة وهي حاوية على العينة حيث يمثل هذا الوزن w_2 على أنه يجب وزن الحلقة مسبقاً وهي فارغة ليمثل هذا الوزن w_1 ، تؤخذ عينات من التربة المتبقية للنموذج الحقلي لغرض إيجاد الوزن النوعي G لها.

3- يتم تشبيع القرص المسامي السفلي بالماء ليوضع بمكانه في الخلية وتركب الحلقة الصلبة فوقه وهي حاوية على العينة ثم يوضع القرص المسامي الثاني فوق العينة ليكون بتماس مع وجهها العلوي.

4- تثبت الخلية بجهاز التحميل في مكانها الخاص ويوضع اللوح الصلب على القرص المسامي العلوي داخل الحلقة ويضاف الماء إلى مجموعة الخلية بحيث يكون مستواه بمقدار لا يقل عن مستوى الوجه العلوي للعينة (الشكل 14-2).

5- يوضع النتوء الخاص بذراع التحميل في مكانه على اللوح الصلب مع موازنة هذا الذراع لتتطابق شعيرة الذراع مع الشعيرة التي تحت قاعدة الخلية.

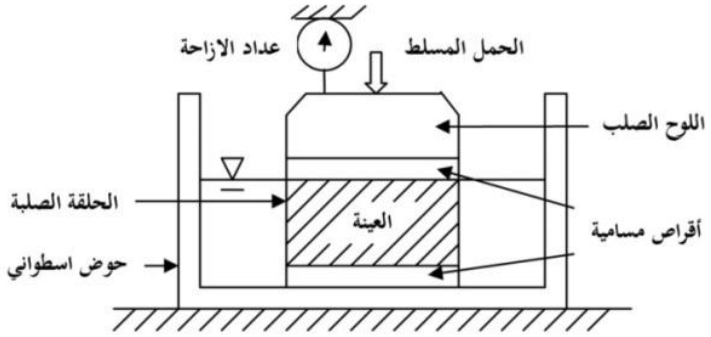
6- يثبت عداد الإزاحة Dailgage بالذراع الخاص به بحيث تكون إبرته مضغوطة لإعطاء قراءة مسبقة للعداد وتسجل هذه القراءة لتمثل القراءة الصفرية له.

7- يوضع الحمل الأول لإعطاء مقدار محدد للضغط المسلط على العينة حيث يتم البدء بمقدار صغير، وفي لحظة التحميل يتم تشغيل ساعة التوقيت لحساب الفترة الزمنية ثم تسجل قراءات عداد الإزاحة لفترات زمنية مثلاً:

0، 0.25، 0.50، 1، 2، 4، 8، 15، 30، 60 دقيقة، 2، 4، 8، 16، 24 ساعة.

8- بعد انتهاء فترة 24 ساعة يتم زيادة الحمل الضغط المسلط وتسجل قراءات العداد لنفس الفترة الزمنية المذكورة في الخطوة السابقة ، تكرر هذه العملية بزيادة الضغط المسلط تدريجياً بما مجموع 5 إلى 7 مقادير للحمل المسلط.

9- يتم أخذ عينة تربة من داخل القرص الصلب عند نهاية التجربة وذلك من أجل تخمين المحتوى المائي الذي يمثل قيمته عند نهاية عملية الانضمام للعينة.



الشكل (14–2): خلية العينة

6.14 الحسابات والنتائج Calculation and Results

بعد خطوات العمل لهذه التجربة تم الحصول على القراءات المبينة في الجدول (14–1) وهي قراءة العداد التي تمثل التغيير في سمك العينة مقابل الفترة الزمنية محسوبة من التوقيت الصفري لتجري بعدها الخطوات من أجل تخمين معامل التصلب C_v بطريقتين.

الجدول (14–1): نتائج القراءات

وصف التربة: تربة طينية Clay سمك العينة H_0 : 19.0 ملميتر.

الصرف: ثنائي الاتجاه الضغط المسلط: 54.0 كيلو نيوتن/متر^2.

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

الفترة الزمنية (دقيقة)	0	1	2	4	8	15	30	60	120	240	480	1440
قراءة العداد (ملميتر)	0	0.035	0.041	0.049	0.058	0.066	0.075	0.086	0.095	0.107	0.115	0.124

طريقة الجذر التربيعي

1- يتم رسم العلاقة بين قراءة العداد على المحور العمودي والجذر التربيعي للفترة الزمنية على المحور الأفقي كما مبينة في الشكل (14–3).

2- إن الجزء الوسطي من هذه العلاقة هو خط مستقيم حيث يمدد هذا الجزء ليقطع المحور العمودي في النقطة A ويكون امتداد المستقيم كاملاً هو AB.

3- يتم رسم المستقيم AD بميل آخر بحيث تصبح المسافة الأفقية CD مساوية إلى 1.15 للمسافة CB حيث أن هذا المستقيم AD سيقطع منحنى العلاقة في النقطة E.

4- إن إحداثية النقطة E على المحور الأفقي تمثل الجذر التربيعي للفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى 90 % من انضمام العينة ($\sqrt{t_{90}}$) ولقراءتها يرسم مستقيم عمودي من النقطة E إلى المحور الأفقي وبالتالي تحسب الفترة الزمنية t_{90} :

$$\sqrt{t_{90}} = 7.5$$

$$t_{90} = 56.3 \text{ min.}$$

5- من قراءة العداد فان التغيير الكلي في سمك العينة ΔH يساوي 0.124 ملميتر وبالتالي فان السمك النهائي H_1 للعينة هو:

$$H_1 = H_0 - \Delta H = 19.000 - 0.124 = 18.876 \text{ mm.}$$

عليه يكون السمك المتوسط للعينة $H_{av.}$ هو:

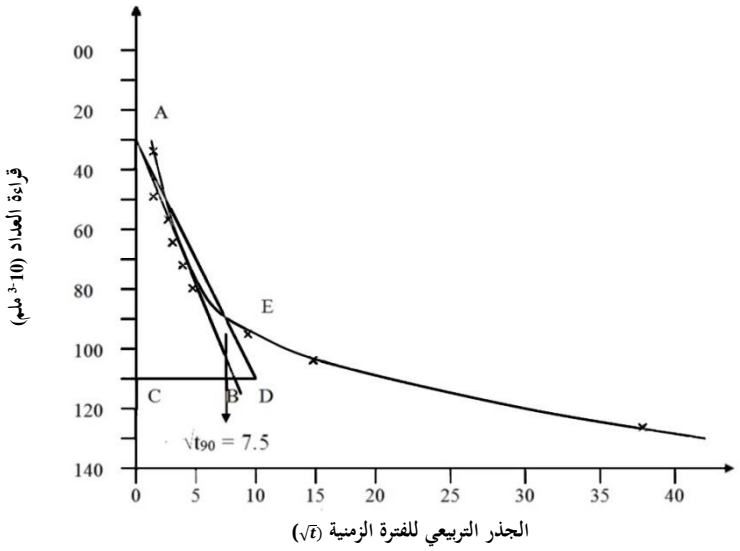
$$H_{av.} = (19.000 + 18.876)/2 = 18.938 \text{ mm.}$$

6- لإيجاد معامل الانضمام C_v تطبق المعادلة التالية:

$$C_v = 0.848d^2/t_{90}$$

حيث أن d هو طول مسار التصريف ويمثل نصف سمك العينة (ثنائي التصريف) حيث يساوي 9.469 ملميتر. عليه فان معامل الانضمام C_v هو:

$$C_v = 0.848\ (9.468)^2/56.3 = 1.35\ mm^2/min. = 0.71\ m^2/yr.$$



الشكل (14–3): طريقة الجذر التربيعي للفترة الزمنية

الطريقة اللوغاريتمية

1- يتم رسم العلاقة بين قراءة العداد على المحور العمودي ولوغاريتم الفترة الزمنية على المحور الأفقي كما مبينة في الشكل (14–4).

2- يمكن قراءة العداد من أول أو ثاني فترة زمنية (t_1) وتحسب قراءة العداد لأربعة أضعاف هذه الفترة ($t_1 4$) لتحدد فوق القراءة الأولى على نفس المحور العمودي:

$t_1 = 2$ min.

$t_1 = 8$ min.4

3- إن تحديد القراءة الأخيرة يمثل القراءة الصفرية لعداد الإزاحة وتسمى U_0 حيث أن:

$U_0 = 0.025$ mm.

4- إن الجزأين الوسطي والنهائي لمنحني العلاقة يكونان بشكل خطين مستقيمين وبالتالي يمكن امتدادهما ليتقاطعا في نقطة تمثل نهاية عملية التصلب وإحداثياتها على المحور العمودي تمثل القراءة النهائية لعداد الإزاحة وتسمى U_{100} حيث أن:

$U_{100} = 0.115$ mm.

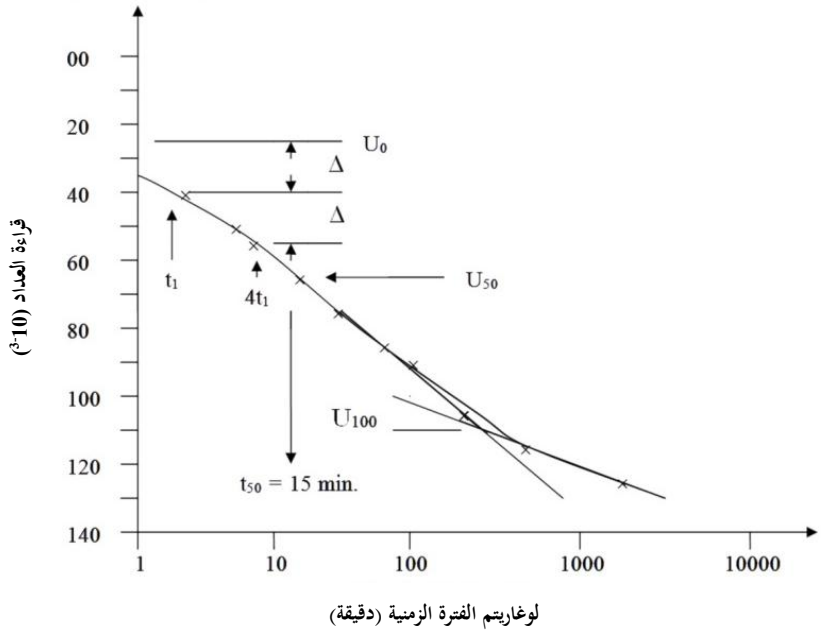
5- يتم حساب متوسط القراءتين المستحصلة من الخطوتين السابقتين لتمثل قراءة العداد عند منتصف الانضمام وهي تمثل U_{50} وتساوي 0.070 ملميتر، لتحدد على المحور العمودي وتسقط قراءته على المنحنى وينزل خط عمودي على المحور الأفقي لتمثل إحداثياتها الفترة الزمنية للوصول إلى 50% من عملية الانضمام t_{50} وهي:

$t_{50} = 15$ min.

6- تم حساب طول مسار التصريف $d = 9.469$ ملميتر. في الطريقة السابقة وعليه يكون مقدار معامل الانضمام C_v هو:

$$Cv = 0.196d^2/t_{50}$$

$$C_v = 0.196(9.468)^2/15 = 1.17 \text{ mm}^2/\text{min.} = 0.61 \text{ m}^2/\text{yr.}$$



الشكل (14–4): طريقة لوغاريتم الفترة الزمنية

7.14 ملاحظات عامة General Notes

إن القيم الناتجة لمعامل الانضمام C_v لعينة التربة بكلتا الطريقتين متقاربة جداً وعليه يمكن اعتبارها قيماً حقيقية لأن كليهما يحقق الأخر وبالتالي يتم حساب القيمة المتوسطة لهما:

$$(C_v)_{av.} = (0.61 + 0.71)/2 = 0.66\ m^2/yr$$

تجربة رقم 15

انضمام التربة: الجزء ألثاني

Soil Consolidation: Part II

1.15 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T216- 66.

2- ASTM D2435-70.

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.15 الغرض من التجربة Purpose

تجرى هذه التجربة على التربة الطينية حيث يتضمن جزئها الثاني إيجاد خواص انضغاطيتها وهي:

معامل التغيير الحجمي m_v ومؤشر الانضغاط C_c والإجهاد الفعال المسبق σ_c

3.15 المعدات والأدوات Equipment

إن الأدوات الرئيسية هي نفسها المبينة في الشكل (14-1) والشكل (14-2) للتجربة السابقة:

1- وحدة آلة وأدوات الانضغاط: جهاز الانضغاط ، خلية العينة ، ذراع التحميل .

2- عداد لقراءة الإزاحة العمودية دقة 0.01 ملميتر. وساعة توقيت دقة 1 ثانية .

3- آلة تحضير العينة مع منشار خاص للتعديل.

4- أدوات تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

5- أدوات تخمين الوزن النوعي G (تجربة رقم 5)

4.15 النظرية والتعريف Theory and Definition

كما تم توضيحه في الجزء الأول فإن انضمام التربة الطينية يمثل دالة مباشرة لعاملين أساسيين هما الفترة الزمنية t التي تم تناول تفاصيلها في التجربة السابقة ثم الضغط المسلط p حيث سيتم توضيح تفاصيله في هذه التجربة، يتم تثبيت الفترة الزمنية في هذه التجربة ثم تسجل قراءات عداد الإزاحة كمتغير للضغط المسلط على العينة وعادةً تؤخذ هذه القراءات عند فترة زمنية مقدارها 24 ساعة وهي تمثل التغيير في سمك العينة ΔH وهي مؤشر للتغيير في نسبة الفجوات Δe لها.

إن مقدار الوزن النوعي G للتربة وكذلك المحتوى المائي ω_1 لها في نهاية عملية الانضمام يمثلان محددين أساسيين لإيجاد خواصها المطلوب حسابها، ويمكن حساب نسبة الفجوات النهائية e_1 للعينة من العلاقة التالية مع الأخذ بنظر الاعتبار أن التربة مشبعة تماماً (درجة الإشباع $S = 1$):

$$Se = \omega G$$

$$e = \omega G$$

$$e_1 = \omega_1 G$$

ويمكن حساب نسبة الفجوات الابتدائيةe_0 من معرفة التغيير الكلي في نسبة الفجوات Δe كما يلي:

$$e_0 = e_1 + \Delta e$$

إن التغيير الكلي في نسبة الفجوات Δe يمكن حسابه من معرفة السمك الكلي H_0 وفق العلاقة التالية:

$$\Delta e/ \Delta H = (1+e_1+ \Delta e)/H_0$$

يتم حساب التغير في نسبة الفجوات Δe لأي مقدار في التغيير للسمك ΔH بعد أن تصبح العلاقة الأخيرة كما يلي:

$$\Delta e/ \Delta H = (1+e_0)/H_0$$

وعليه يمكن حساب نسبة الفجوات e لأي مقدار للضغط المسلط بعد طرح التغيير فيها Δe من مقدارها في الضغط المسلط السابق لحين الوصول لمقدار نسبة الفجوات النهائية.

إن الضغط المسلط p يمثل مقدار الإجهاد الفعال σ للعينة بعد حصول عملية الانضمام خلال الفترة الزمنية المحددة وهي 24 ساعة ، يتم رسم العلاقة بين نسبة الفجوات e (المحور العمودي) ولوغاريتم الإجهاد الفعال (المحور الأفقي) لاستخراج خواص انضغاطية هذه التربة المبين تفاصيل خطواتها عند إجراء الحسابات اللازمة لهذه التجربة.

5.15 طريقة العمل Procedure

كما تم توضيحه في الجزء الأول فإن طريقة العمل لهذه التجربة هي شاملة لكلا جزأيها وان خطوات عملها قد ذكرت تفصيلاً في ذلك الجزء.

6.15 الحسابات والنتائج Calculation an Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (15–1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها وكذلك نتائج الحسابات حيث تفاصيلها للقراءتين ألأولى والثانية هي كما يلي:

1- تم تخمين المحتوي المائي ω_1 للعينة في نهاية التجربة وكان يساوي 19.8 % وحيث أن مقدار وزنها النوعي G = 2.73 وهي في حالة الإشباع التام (S = 1) فتكون نسبة الفجوات e_1 في نهاية التجربة هي:

$$e_1 = \omega_1 G = 0.198 \times 2.73 = 0.541$$

2– إن التغيير الكلي في سمك العينة ΔH هو:

$$\Delta H = 5.000 - 1.48 = 3.52 \text{ mm.}$$

عليه يكون مقدار التغيير الكلي في نسبة الفجوات Δe هو:

$$\Delta e/\Delta H = (1+e_0)/H_0 = (1+e_1+\Delta e)/H_0$$

$$\Delta e/3.52 = (1+0.541+\Delta e)/19.0$$

$$\Delta e = 0.35$$

فتكون نسبة الفجوات في بداية التجربة e_0 كما يلي:

$$e_0 = e_1 + \Delta e = 0.541 + 0.35 = 0.891$$

3- لحساب التغيير في نسبة الفجوات Δe تحت تأثير كل ضغط يتم حساب التغيير في السمك ΔH أولاً وهو العمود رقم (3) ثم تطبق العلاقة التالية:

$$\Delta e/\ \Delta H = (1+e_0)/H_0 = (1+0.891)/19.00$$

$$\Delta e/\ \Delta H = 0.099526$$

4- لقراءة العداد الثانية 4.747 ملميتر يكون مقدار التغيير في السمك ΔH هو:

$$\Delta H = 5.000 - 4.747 = 0.253 \text{ mm.}$$

فيكون مقدار التغيير في نسبة الفجوات Δe لهذه القراءة:

$$\Delta e = 0.099526\ \Delta H = 0.099526 \times 0.253 = 0.025$$

عليه تكون نسبة الفجوات e لهذه القراءة هو:

$$e = 0.891 - 0.025 = 0.866$$

وهكذا لبقية القراءات المبينة في الجدول.

5- يتم رسم علاقة بيانية لنسبة الفجوات e التي تكون على المحور العمودي والضغط المسلط الذي يمثل الإجهاد الفعال σ على المحور الأفقي (الشكل 15-1) من أجل تخمين الخواص المطلوبة لهذه التربة.

الجدول (15–1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: تربة طينية Clay الوزن النوعي G : 2.73

المحتوى المائي عند نهاية التجربة ω_1 : 19.8 % سمك العينة H_0 : 19.0 ملميتر.

الفترة الزمنية لقراءة العداد: 24 ساعة . الصرف: ثنائي الاتجاه

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

e	Δe	ΔH (ملميتر)	قراءة العداد (ملميتر)	الضغط المسلط كيلو نيوتن/متر^2
0.891	00	00	5.00	00
0.866	0.025	0.253	4.747	54
0.841	0.050	0.507	4.493	107
0.802	0.089	0.892	4.108	214
0.737	0.154	1.551	3.449	429
0.653	0.238	2.392	2.608	858
0.560	0331	3.324	1.676	1716
0.467	0.424	4.263	0.737	3432
0.541	0.350	4.520	1.480	00

6- لحساب معامل التغيير الحجمي m_v الذي يساوي:

$$m_v = \Delta e/(1+ e_0)\, \Delta\sigma$$

ويمكن استخراج مقدار التغيير في نسبة الفجوات Δe لأي تغيير في الإجهاد الفعال فمثلاً:

$$\sigma_0 = 1000\ kN/m^2$$

يتم تسقيط هذه القيمة على المنحنى فتكون:

$$e_0 = 0.632$$

وعندما يزداد الإجهاد الفعال إلى:

$$\sigma_1 = 1500\ kN/m^2$$

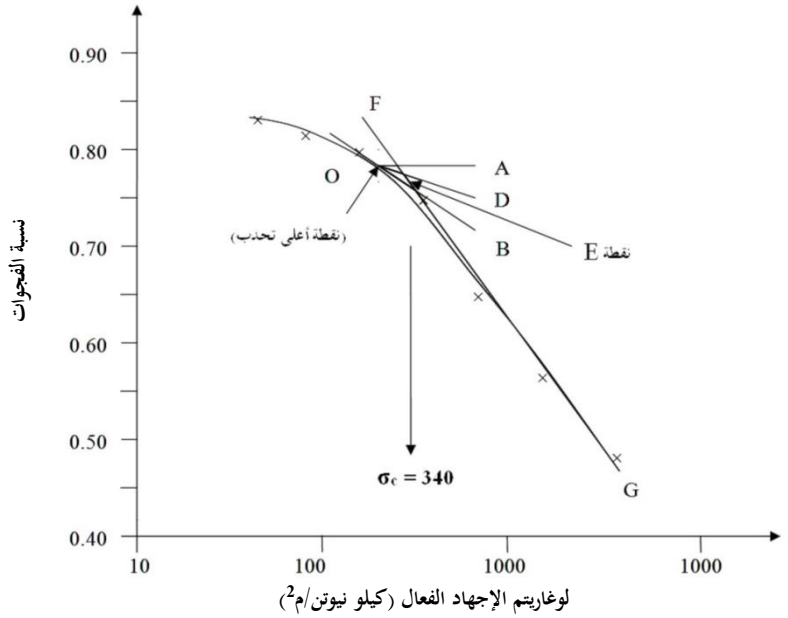
تكون قيمة نسبة الفجوات من المنحنى:

$$e_1 = 0.\ 577$$

عليه فان مقدار معامل التغيير الحجمي m_v هو:

$$m_v = (0.0.632 - 0.\ 577)/(1+0.632)\ (1500-1000)$$

$$m_v = 6.7\times10^{-5}\ m^2/kN = 0.067\ m^2/MN$$



الشكل (15–1): **العلاقة بين الإجهاد الفعال ونسبة الفجوات**

7- يمكن حساب مؤشر الانضغاط C_c لنفس مقادير التغيير في الإجهاد الفعال ونسبة

الفجوات وفق العلاقة التالية:

$$C_c = \Delta e/\log \sigma_1/ \sigma_0$$

ولنفس القراءات في الخطوة السابقة فإن:

$$C_c = (0.632 - 0.577)/\log 1500/1000 = 0.31$$

وهو يمثل ميل منحنى وليس له وحدة.

8- لاستخراج الإجهاد الفعال المسبق σ_c تستخدم طريقة الرسم التالية:

يتم تحديد نقطة أعلى تحدب في المنحني ولتكن النقطة O ليرسم من عندها خط أفقي OA وخط مماس OB ، تنصف الزاوية AOB بالمستقيم OD ليقطع امتداد الجزء الأخير من المنحنى وهو المستقيم FG في النقطة E ، تسقط إحداثيات هذه النقطة على المحور الأفقي لتمثل مقدار الإجهاد الفعال المسبق σ_c الذي يساوي:

$$\sigma_c = 340 \text{ kN/m}^2$$

7.15 ملاحظات عامة General Notes

بالاعتماد على منحنى العلاقة بين الإجهاد ونسبة الفجوات يمكن استخراج عدة قيم مختلفة لخواص انضغاطية التربة بنفس الطريقة وهي معامل التغيير الحجمي m_v ومؤشر الانضغاط C_c والإجهاد الفعال المسبق σ، يمكن استخراج مقادير ثابتة ومحددة لهذه الخواص من الجزء الأخير لهذه العلاقة وهو الخط المستقيم للاعتماد عليها في الجانب النظري.

تجربة رقم 16

صندوق القص المباشر

Direct Shear Box

1.16 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T 236.

2- ASTM D3080.

3- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.16 الغرض من التجربة Purpose

تجرى هذه التجربة من أجل تخمين محددات مقاومة القص C,ϕ للتربة بمختلف الحالات.

3.16 المعدات والأدوات Equipment

1- جهاز القص المباشر (الشكل16-1) ويتألف من:

صندوق معدني بجزأين علوي وسفلي، هيكل معدني مع مجموعة أثقال، عداد قراءة الإزاحة الأفقية ، عداد قراءة الإزاحة العمودية، حلقة بعداد لقراءة القوة الأفقية.

2- مدق لدمك التربة داخل الصندوق (الشكل 16-2) وسكين لتسوية سطحها.

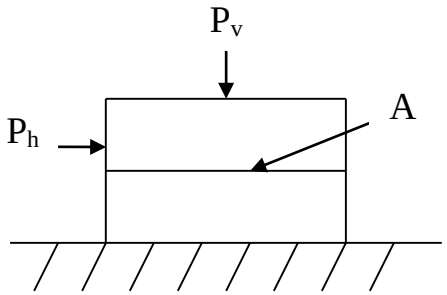
4.16 النظرية والتعريف Theory and Definition

في هذه التجربة يحدد مسبقاً مستوى القص الأفقي ذو المساحة A في عينة التربة حيث يؤثر عليه إجهادان وهما الإجهاد العمودي σ_n الناتج من القوة العمودية (P_v) وإجهاد

القص τ الناتج من تأثير القوة الأفقية (P_h):

$$\sigma_n = P_V/A.$$

$$\tau = P_h/A$$

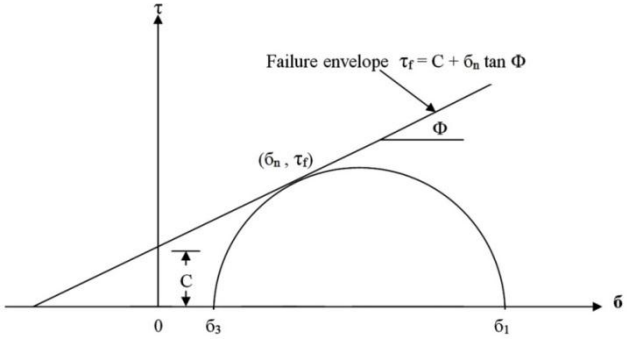


الشكل (16–1): جهاز القص المباشر

الشكل (16–2): مدق دمك التربة

حسب تحليل موهر – كولومب (الشكل 16–3) فأن التربة تصل إلى حالة الفشل عندما يكون مساوياً إلى مقاومة التربة لهذا الإجهاد حيث تعتمد هذه المقاومة علىτ إجهاد القص الناتج زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ والتماسك C بين الحبيبات، عليه فأن هذه المقاومة تمثل إجهاد τ_f: القص عند الفشل $\tau_f = C + \sigma_n \tan \phi$.

أن نتائج التجربة يمكن استثمارها لرسم دوائر مور للحصول على (Φ و C) وفق العلاقة البيانية بين (σ_n ، τ) حيث يتم رسم خط مستقيم خط مماس للدوائر في نقطة الفشل حيث تكون زاوية ميل هذا الخط هي زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ ونقطة تقاطعه مع المحور العمودي تمثل التماسك C وفي التربة غير المتماسكة تكون قيمة التماسك صفراً فتصبح العلاقة: $\tau_f = \sigma_n \tan \phi$



الشكل (16-3): تحليل موهر– كولومب

يمكن تصنيف التجربة حسب حالة التربة إلى ما يلي:

1- التربة العديمة التماسك مثل الرمل والحصى.

2- التربة المتماسكة في حالة صرف الماء المسامي.

3- التربة الطينية مسبقة الانضغاط في حالة صرف الماء المسامي.

4- التربة الطينية الضعيفة التماسك في حالة عدم صرف الماء المسامي.

5.16 طريقة العمل Procedure

أ– اختبار القص للتربة الرملية (تربة عديمة التماسك).

1- تؤخذ عينة التربة المراد اختبارها بعد تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة 105 – 110 م^0 وتوزن منها كمية لحساب الكثافة وتكون كافية لإجراء ثلاثة تجارب من نفس الكثافة.

2- يتم ربط جزئي الصندوق بواسطة مسامير خاصة وتوضع عينة التربة داخل الصندوق ثم تدمك ويعدل سطحها العلوي بواسطة سكين التسوية للحصول على السمك اللازم.

3- يوضع الصندوق بمكانه في الهيكل وتثبت عدادات الإزاحة وحلقة القوة الأفقية (الشكل16-4) ثم ترفع مسامير الربط للسماح بحركة جزئي الصندوق عن بعضها.

4- تسلط القوة العمودية على سطح العينة و ينزع مسمارا التثبيت لتبدأ التجربة، ويجب رفع النصف العلوي من الصندوق لمسافة كافية لجعل نصفي صندوق القص متلاصقين.

5- يبدأ تطبيق القوة الأفقية (قوة القص) وقراءتها حيث تزداد تدريجياً مع قراءة مؤشر الإزاحة الأفقية والإزاحة العمودية خلال التجربة.

6- توضع مؤشرات لقياس الإزاحة الأفقية ويجب إن تكون سرعة القص بين 0.5 – 2 ملميتر/دقيقة ولا تستخدم سرعة كبيرة لإعطاء حمولة القص يجب إن تنهار العينة بعد حوالي (3-5 دقائق).

7- يتم اخذ كل قراءات عدادات الإزاحة وحلقة قياس الأحمال ويستمر حتى يكون مقدار الإزاحة الأفقية حوالي 15% من طول العينة في اتجاه القص أو تصل قوة القص إلى مقدار ثابت مع استمرار الإزاحة و هذا يدل على حدوث الانهيار للعينة.

8- يتم إخراج الرمل من صندوق القص و تكرر خطوات التجربة من 1 إلى 7 على عينتين إضافيتين بقيم مختلفة للقوة العمودية مع ملاحظة أن فرق وزن العينة لا يزيد على 0.5 إلى 1

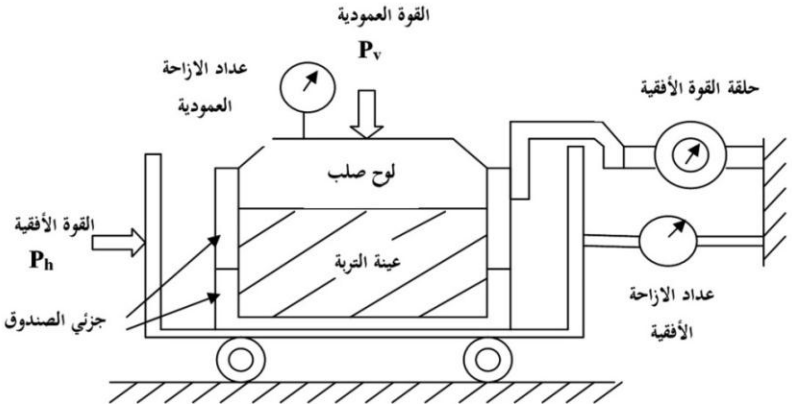
جرام بين التجربتين والتأكد من أن الرمل يشغل نفس الحيز للتجربة الأولى.

ب– اختبار القص للتربة الطينية (تربة متماسكة).

1- تجهيز 3-4 عينات من نفس القياس و الكثافة و يستعمل سكين للحصول على الحجم بدقة وبأشكال ذات مقطع أفقي مربعة الشكل (بطول ضلع 5 سنتميتر وسمك 20 إلى 25 ملميتر)

2- يوصل جزئي صندوق القص و يجب التأكد من وضع اللوح الحجري المسامي إلا إذا كانت التربة جافة وتقاس إبعاد الصندوق لتحديد مساحة مقطع عينة التربة.

3- تنقل العينة إلى صندوق القص ويوضع على سطحها الحمل العمودي استعدادا لبدء التجربة ثم تتبع الخطوات 4 إلى 8 للتربة الرملية السابقة الذكر.



الشكل (16–4): تركيب الصندوق وتثبيت العدادات

6.16 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (16–1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات حيث تفاصيلها للقراءة الثانية هي كما يلي:

1- تحسب قوة القص في العمود الثالث:

قوة القص = قراءة العداد × معامل المعايرة = 45 × 0.31 = 13.95 باوند

2- يكون مقدار إجهاد القص في العمود الرابع هو:

إجهاد القص = قوة القص\مساحة مقطع العينة

= 13.95\4 = 3.49 باوند \انج^2

3- يتم حساب الإجهاد العمودي المسلط في العمود السابع والذي يكون بمقدار ثابت لهذه العينة:

الإجهاد العمودي = القوة العمودية \ مساحة مقطع العينة

= 56 \ 4 = 14 باوند \انج^2

4- ترسم العلاقة بين الإزاحة الأفقية والإزاحة العمودية كما هو موضح بالشكل (16–5).

5- ترسم العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص للحصول على مقدار اقصى إجهاد قص τ_f = 10 باوند\انج^2 كما هو موضح بالشكل (16-6).

6- تجرى التجربة عادةً على ثلاث عينات من نفس التربة وبنفس الكثافة وذلك تحت تأثير ثلاث قيم مختلفة للأحمال الراسية حيث كانت النتائج كالتالي:

للعينة رقم (2):

الإجهاد العمودي = 7 باوند\انج^2 ، اقصى إجهاد قص = 5 باوند\انج^2.

للعينة رقم (3):

الإجهاد العمودي = 28 باوند\انج^2، اقصى إجهاد قص = 20 باوند\انج^2.

7- ترسم العلاقة بين اقصى إجهاد قص τ_f على المحور العمودي والإجهاد العمودي σ_n المقابل على المحور الأفقي وبنفس المقياس (الشكل 16-7) لنتائج العينات الثلاثة حيث يتم الحصول على خط مستقيم بين النقاط فيكون تقاطع الخط مع المحور العمودي هو قيمة التماسك (C = 0) وزاوية ميل الخط تمثل زاوية الاحتكاك الداخلي $\Phi = 33^0$

7.16 ملاحظات عامة General Notes

1- نتيجة الاختبار بينت أن زاوية الاحتكاك الداخلي = 33^0 والتماسك = صفر وهي

تعتبر مناسبة للعينة التي تم إجراء الاختبار عليها التي تمثل تربة رملية عديمة التماسك.

2- إن قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي Φ لعينة تربة الاختبار واقعة ضمن حدود هذه الزاوية لنوعين من التربة الرملية المبينة في الجدول أدناه:

تربة رملية ذات حبيبات بأسطح دائرية	° Φ	تربة رملية ذات حبيبات زاوية الأسطح	° Φ
ناعمة	32-28	ناعمة	36-30
متوسطة	35-30	متوسطة	40-34
خشنة	38-34	خشنة	45-40

الجدول (16–1): القراءات ونتائج الحسابات

رقم العينة: Uniform Sand1 وصف التربة: رمل منتظم

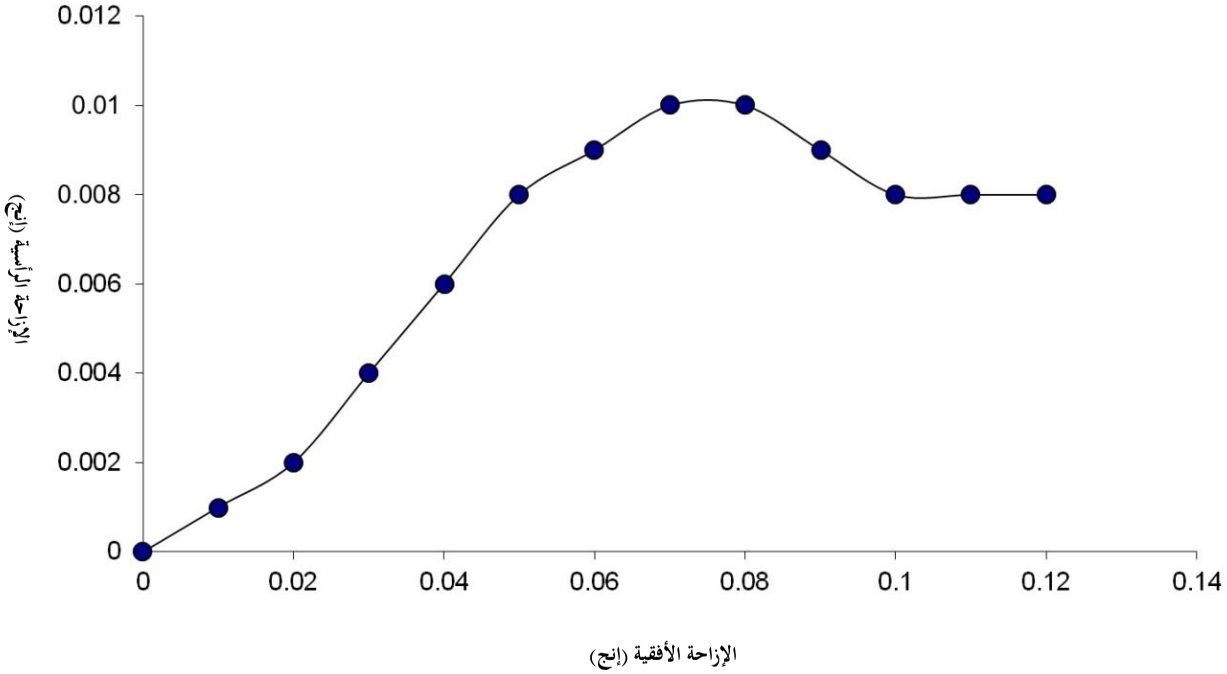
الإجهاد العمودي: 14 باوند\انج^2 الكثافة الجافة لعينة التربة: 104 باوند/قدم^3

مساحة المقطع الأفقي للعينة: 2×2 = 4 انج^2 سمك العينة: 1.31 انج

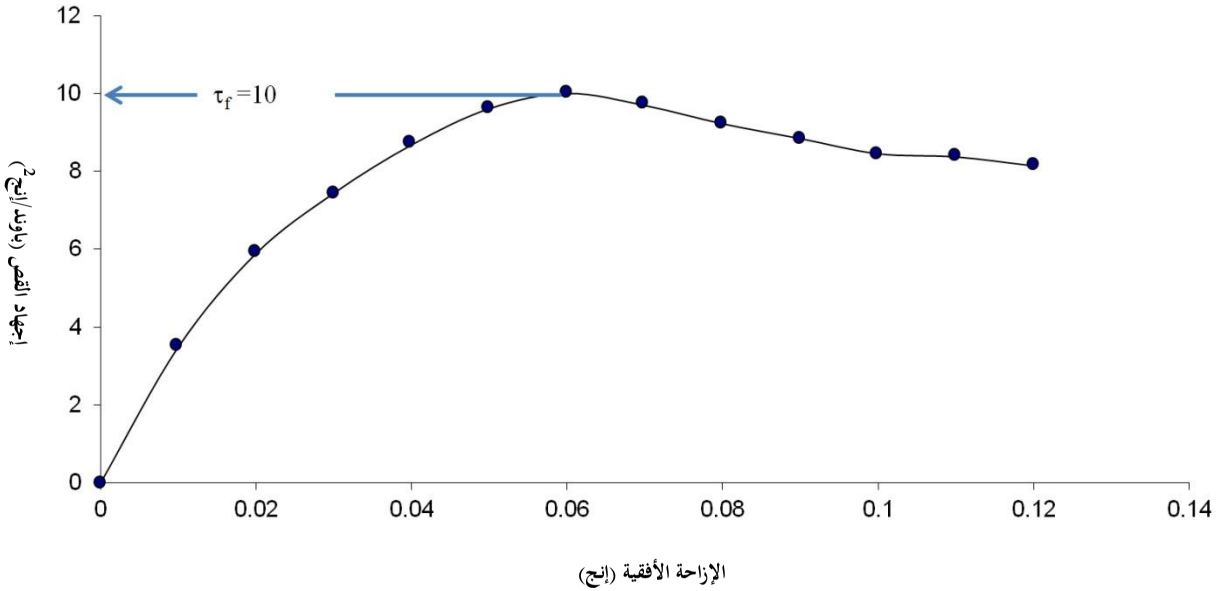
الموقع: .....

مختبرة بواسطة:.....التاريخ: .....

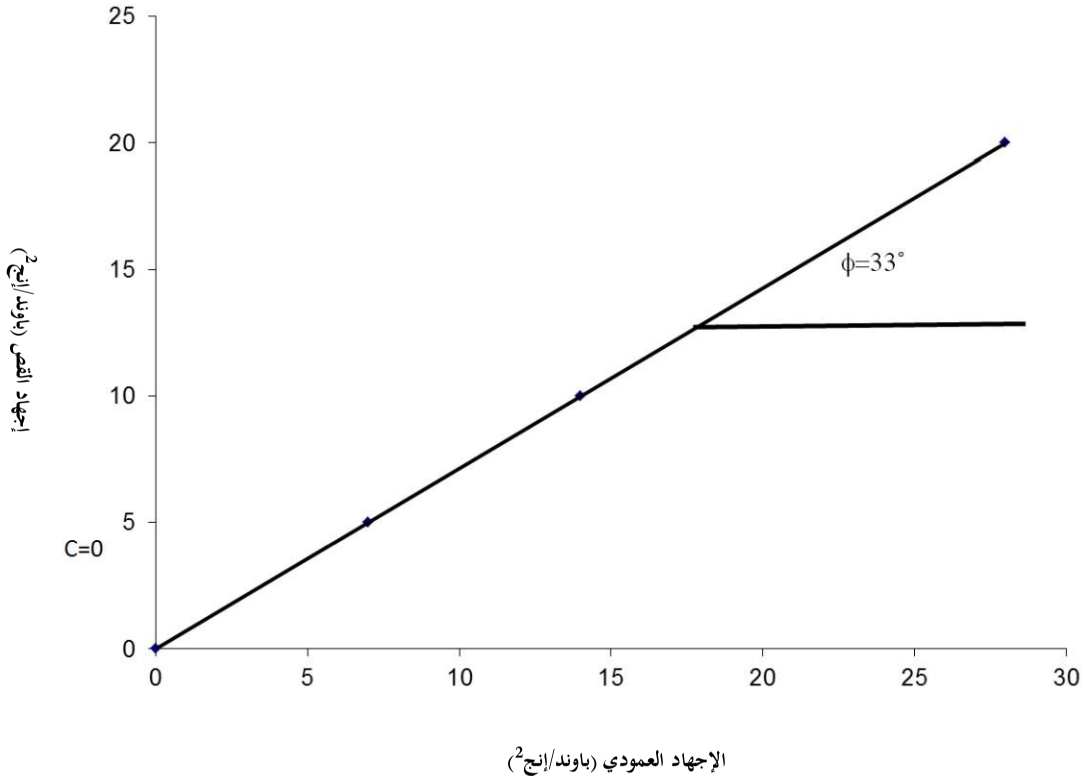
قراءة عداد القوة الأفقية (تدريجه)	معامل المعايرة لعداد القوة القص (باوند/تدريجه)	القوة الأفقية (باوند)	إجهاد القص (باوند/انج^2)	الإزاحة العمودية (انج)	الإزاحة الأفقية (انج)	الإجهاد العمودي (باوند/انج^2)
0	0.31	0	0	0	0	14
45	0.31	13.95	3.49	0.001	0.01	14
76	0.31	23.56	5.89	0.002	0.02	14
95	0.31	29.76	7.44	0.004	0.03	14
112	0.31	34.72	8.68	0.006	0.04	14
124	0.31	38.44	9.61	0.008	0.05	14
129	0.31	39.99	10	0.009	0.06	14
125	0.31	38.75	9.69	0.01	0.07	14
119	0.31	36.89	9.22	0.01	0.08	14
114	0.31	35.34	8.84	0.009	0.09	14
109	0.31	33.79	8.45	0.008	0.1	14
108	0.31	33.48	8.37	0.008	0.11	14
105	0.31	32.55	8.14	0.008	0.12	14



الشكل (16–5):العلاقة بين الإزاحة الأفقية والإزاحة العمودي



الشكل (16-6): العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص



الشكل (16–7): العلاقة بين الإجهاد العمودي وإجهاد القص

تجربة رقم 17

الضغط غير المحصور

Unconfined Compression

1.17 المصادر المواصفات References and Specification

1- AASHTO T208-70

2- ASTM 2166-66

3- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

4- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.17 الغرض من التجربة Purpose

تجرى هذه التجربة على التربة الطينية المشبعة لتخمين مقاومتها للقص Shear Strength من خلال تحديد مقاومتها للضغط غير المحصور Unconfined Compressive Strength

3.17 المعدات والأدوات Equipment

1- جهاز الضغط اليدوي (الشكل 17-1) ويشمل:

هيكل التحميل، حلقة قياس القوة ، عداد الإزاحة دقة 0.01 ملميتر.

2- آلة نحت وأدوات تحضير عينة التربة.

4.17 النظرية والتعريف Theory and Definition

تعتمد مقاومة القص في التربة τ أساساً على خاصيتين تمثلان محددات هذه المقاومة هما التماسك C بين حبيبات التربة والاحتكاك الداخلي المتمثل بزاوية الاحتكاك الداخلي Φ بين هذه الحبيبات، يتم التعبير عن هذه المقاومة بالعلاقة التالية:

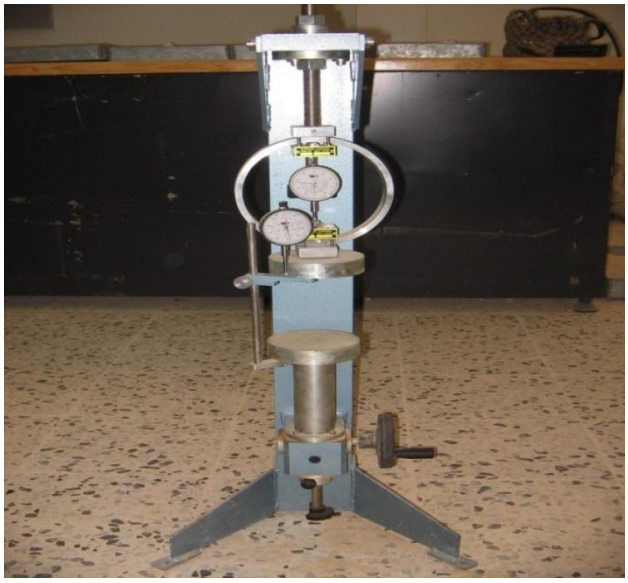
$$\tau = C + \sigma_n \tan \Phi$$

حيث أن σ_n يمثل الإجهاد العمودي على المستوى الذي تفشل به العينة.

إن تجربة الضغط غير المحصور تعتبر من أبسط التجارب التي تتم غالباً على التربة الطينية المشبعة لتحديد مقاومتها للقص، تجرى هذه التجربة على عينة تربة أسطوانية الشكل حيث تكون النسبة بين ارتفاعها L إلى قطرها d ضمن الحدود التالية:

$$< L/d < 32$$

يستخدم جهاز الضغط اليدوي لتسليط الحمل العموديP على العينة بشكل سريع كي تكون في حالة عدم الصرف حيث تزداد قيمته تدريجياً إلى أنتصل إلى حالة الفشل الذي يكون غالباً بإحدى الحالات المبينة في الشكل (17–2) مع قياس التغيير في طول العينة ΔL أثناء تسليط الحمل.

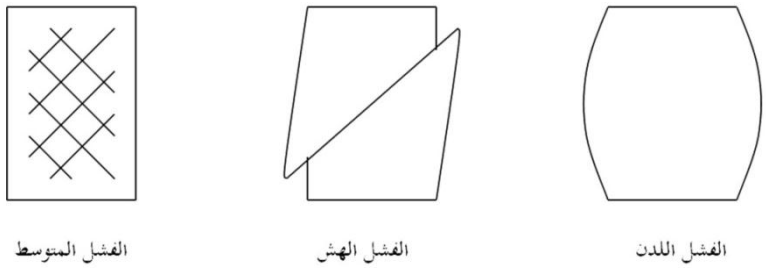


الشكل (17–1): جهاز الضغط اليدوي

إن مقدار الانفعال ε الناتج للعينة يمكن حسابه كما يلي:

$$\varepsilon = \Delta L/L_o$$

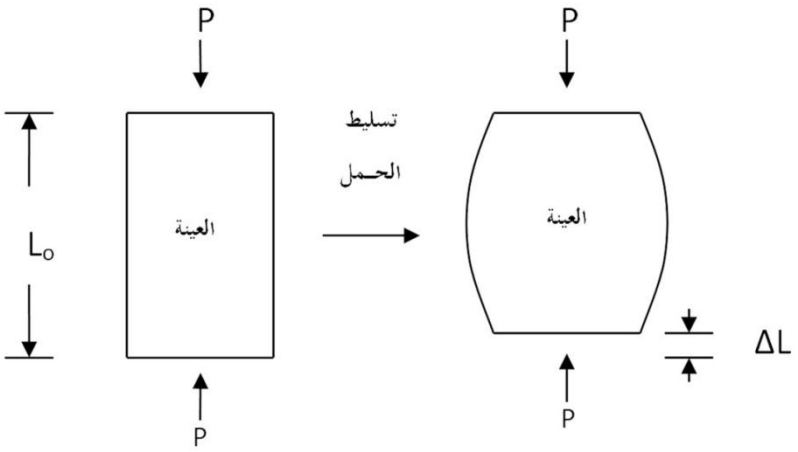
حيث أن L_o يمثل الطول الابتدائي للعينة.



الشكل (17–2): حالات فشل العينة

إن الانفعال الذي يحدث للعينة أثناء تسليط الحمل يسبب تغيير في مساحة المقطع العرضي لها، فإذا كانت مساحة المقطع العرضي الابتدائي A_o وباعتبار أن الفشل المثالي للعينة هو فشل لدن (الشكل17–3) فتكون مساحة المقطع العرضي المصحح (بعد تسليط الحمل) $\bar{A}$ هي:

$$\bar{A} = A_o/(1- \varepsilon)$$



الشكل (17–3): الفشل المثالي للعينة

يتم حساب مقدار الإجهاد العمودي σ الناتج على العينة كما يلي:

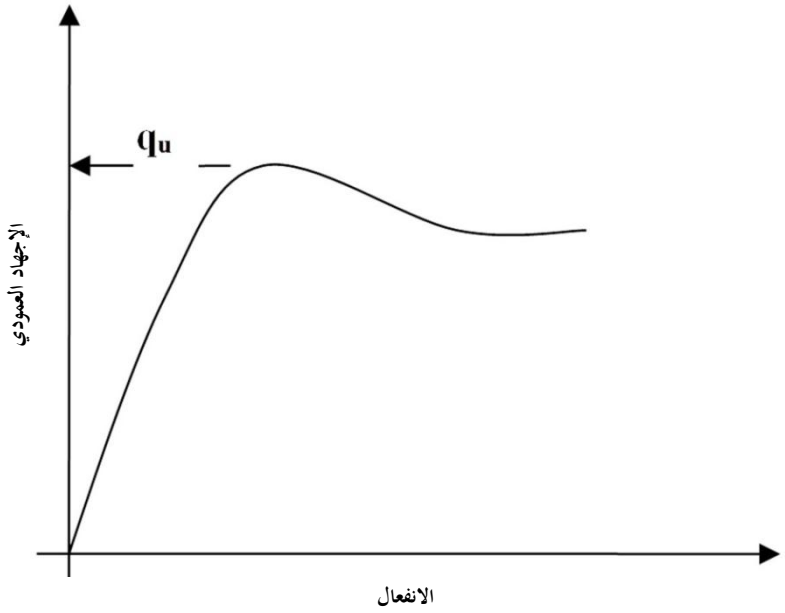
$$\sigma = P/ \bar{A}$$

ترسم العلاقة بين الإجهاد σ والانفعال ε لاستخراج أعلى قيمة للإجهاد $\sigma_{max.}$ التي تمثل مقاومة الضغط غير المحصور q_u لعينة التربة (الشكل 17–4):

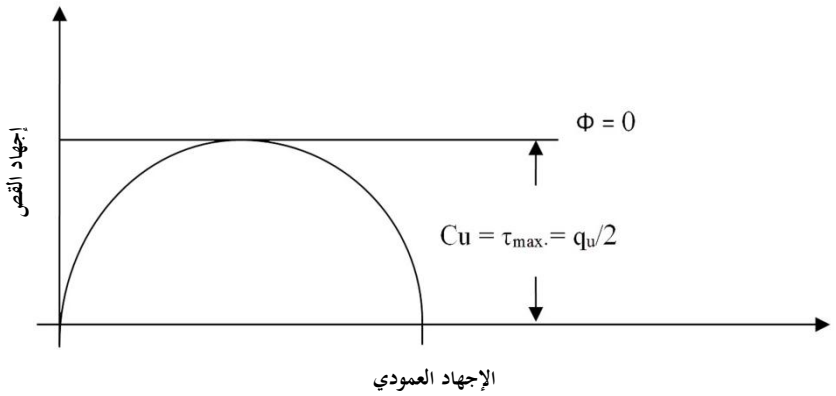
Unconfined Compressive Strength $q_u = \sigma_{max.}$

وللتربة الطينية المشبعة تماماً ($\Phi = 0$) يمكن التعبير عن التماسك Cu (الشكل 17-5) كما يلي:

$$Cu = \tau_{max.} = q_u/2$$



الشكل (17-4): العلاقة بين الإجهاد والانفعال



الشكل (17–5): مقاومة الضغط غير المحصور وتماسك التربة

5.17 طريقة العمل Procedure

1- يتم تحضير نموذجي تربة أسطوانية الشكل بمساعدة الآلة والأدوات الخاصة بذلك لتكون النسبة بين ارتفاعها إلى قطرها ضمن الحدود المبينة في الفقرة السابقة، إن الأقطار القياسية للنموذج محددة على قاعدتي جهاز الضغط اليدوي وغالباً يكون القطر المستخدم لهذا الفحص هو 35 ملميتر.

2- تقاس القيمة المتوسطة لقطر وارتفاع كل نموذج وتسجل لدقة 1 ملميتر، ثم يوضع النموذجان في مكان رطب لحين تحضير جهاز الضغط مع حلقة قياس القوة وتثبيت عداد الإزاحة (الشكل17–6).

3- يوزن النموذج الأول ويوضع على القاعدة السفلى للجهاز ثم يتم تحريكها إلى الأعلى إلى أن يتم التماس المباشر بين قاعدتي الجهاز ووجهي النموذج مع ضرورة أن تكون مراكزها على

محور واحد، يتم تسجيل القراءة الابتدائية لعداد الإزاحة وتثبيت عداد حلقة القوة على القراءة الصفرية.

4- يتم البدء بتسليط الحمل العمودي وذلك بتحريك القاعدة السفلى باتجاه الأعلى عن طريق ذراع يدوي دوار على أن تكون سرعة الحركة ثابتة وعالية نسبياً. تسجل قراءة عداد حلقة قياس القوة لقراءة عداد الإزاحة المحددة مسبقاً حيث يستمر ذلك إلى أن تثبت قراءة عداد الحلقة أو تبدأ بالنقصان أو أن يتجاوز انفعال العينة 20% وهي مؤشرات لفشل النموذج.

5- توقف حركة الجهاز ويرسم مخطط توضيحي لشكل حالة فشل النموذج ثم يتم استخراج النموذج من الجهاز وتؤخذ منه عينتا تربة لغرض تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

6- تعاد الخطوات 3 ، 4 ، 5 على النموذج الثاني.

6.17 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على التربة الموصفة ضمن البيانات المرفقة بالجدول (17–1) حيث أن القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات مبينة في الجدول (17–2) وتفاصيلها للقراءة الثانية كما يلي:

1– إن أبعاد ووزن النموذج تساعد على حساب الكثافة الكلية له، ومن تخمين المحتوى المائي للنموذج يتم تحديد مقدار الكثافة الجافة له المثبتة برفقة الجدول.

2- لحساب الحمل العمودي P المسلط (عمود رقم 3) تضرب قراءة عداد حلقة القوة (عمود رقم 2) بعامل التحويل الخاص بالحلقة:

Load Ring Factor (kg/div.) × Dial gauge Reading (div.) = Applied load (kg)

تكون القراءة الأولى:

$$\times 0.34 = 2.72 \text{ kg8}$$

3- يتم حساب الانفعال ε (عمود رقم 4) للقراءة الأولى كما يلي:

$$\varepsilon = \Delta L/L_o$$

$$\varepsilon = 0.\ 5\text{mm}/108\text{mm} = 0.0046$$

4- إن مساحة المقطع العرضي المصحح $\bar{A}$ للعينة (عمود رقم 5) في القراءة الأولى هي:

$$\bar{A} = A_o/(1-\varepsilon)$$

$$\bar{A} = 16.26\text{cm}^2/\ (1-\ 0.0046) = 16.34\ \text{cm}^2$$

5- يكون الإجهاد العمودي المسلط σ (عمود رقم 6) للقراءة الأولى هو:

$$\sigma = P/\ \bar{A}$$

$$\sigma = 2.72/16.34 = 0.166\ \text{kg/cm}^2 = 16.3\ \text{kN/m}^2$$

6- تجرى نفس خطوات الحسابات السابقة على بقية القراءات وكما هي مبينة نتائجها في الجدول (17-2).

7- يتم رسم منحنى العلاقة بين الإجهاد العمودي المسلط σ حيث يكون على المحور العمودي والانفعال ε الذي يكون على المحور الأفقي (الشكل 17-7)، تستخرج قيمة مقاومة الضغط غير المحصور لعينة التربة التي تمثل قمة المنحني حيث تساوي:

$$q_u = 101 \text{ kN/m}^2$$

أما مقاومة الضغط غير المحصور للنموذج الثاني هي:

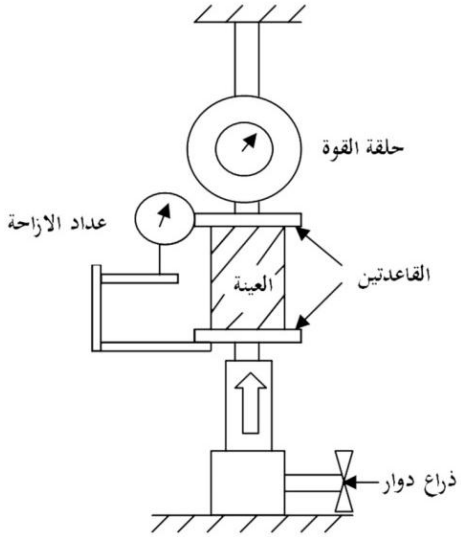
$$q_u = 82 \text{ kN/m}^2$$

عليه تكون القيمة المتوسطة لمقاومة الضغط غير المحصور لهذه التربة هي:

$$(q_u)_{av.} = (101 + 82)/2 = 91.5 \text{ kN/m}^2$$

والشكل (17-8) يوضح مقاومة الضغط غير المحصور q_u فيكون تماسك التربة Cu كما يلي:

$$Cu = \tau_{max.} = q_u / 2 = 91.5 /2 = 45.8 \text{ kN/m}^2$$



الشكل (17–6): تثبيت العينة والعدادات

تفاصيل النتائج

وصف التربة: طين غريني Silty Clay رقم العينة: 1

عامل التحويل الخاص بالحلقة Load Ring Factor : 0.34 كيلوجرام/تدريجة

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

الجدول (17–1): البيانات الخاصة بعينة التربة

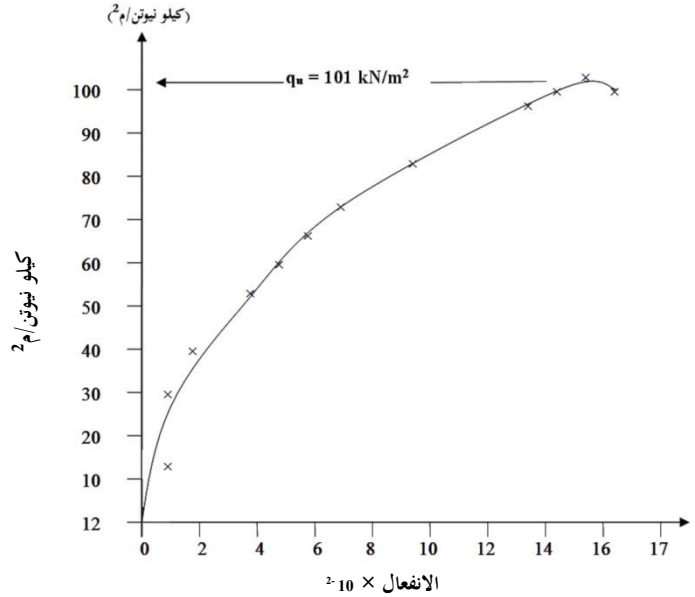
الوصف	القيمة
متوسط قطر المقطع العرضي (ملميتر)	45.5
متوسط الطول الابتدائي (ملميتر)	108
المساحة الابتدائية للمقطع العرضي (سنتميتر^2)	16.26
الكثافة الرطبة (جرام\ سنتميتر^3)	19.0
الكثافة الجافة (جرام\ سنتميتر^3)	16.7
المحتوى المائي (%)	14.5

الجدول (17–2): القراءات ونتائج الحسابات

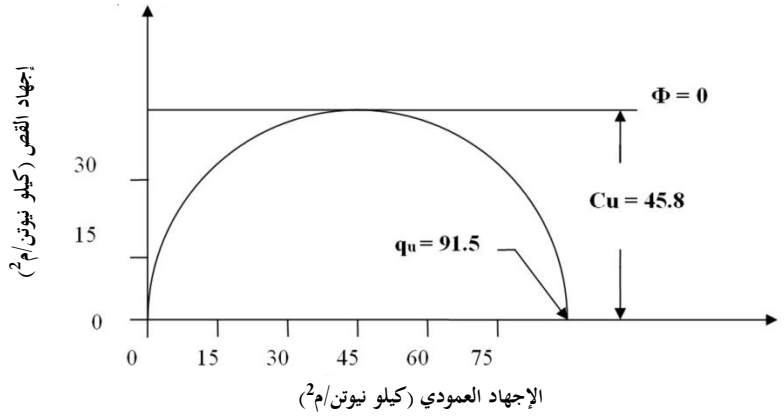
الإزاحة ΔL (ملميتر)	عداد القوة (تدريجه)	الحمل P (كيلوجرام)	الانفعال ε $\times 10^{-2}$	المساحة $\bar{A}$ (سنتميتر^2)	الإجهاد العمودي كيلوجرام/سنتميتر^2 كيلو نيوتن/متر^2
00	00	00	00	16.26	00 00
0.50	8	2.72	0.46	16.34	16.3 0.166
1.00	15	5.10	0.92	16.41	30.5 0.311
2.00	20	6.80	1.85	16.59	40.2 0.418
4.00	27	9.18	3.70	16.88	53.3 0.543
5.00	30	10.20	4.63	17.05	58.7 0.598
6.00	33	11.22	5.56	17.22	65.9 0.651
7.50	38	12.92	6.94	17.47	72.5 0.739
10.00	44	14.96	9.26	17.92	81.9 0.835
12.00	49	16.66	11.11	18.29	89.3 0.910
14.00	54	18.36	12.96	18.68	96.4 0.983
15.00	56	19.04	13.89	18.88	98.9 1.008
16.00	58	19.72	14.81	19.09	101.3 1.033
17.00	57	19.38	15.74	19.30	98.5 1.004

7.17 ملاحظات عامة General Notes

إن تماسك التربة ومقاومة الضغط غير المحصور لها يعتمد بشكل عام على التركيب الحبيبي للتربة والمحتوى المائي لها إضافة إلى ذلك فإن خصوصية التجربة لها دور كبير فيما يتعلق بتحضير النموذج حيث لا يمكن أن يتطابق النموذجان في جميع مواصفاتهما وبالتالي لابد وأن يكون هنالك فرق في نتائج النموذجين، يمكن أن يكون هذا الفرق مقبولاً عندما لا يتجاوز 10 % وبعكسه يستوجب إعادة التجربة على نموذج ثالث.



الشكل (17–7): العلاقة بين الإجهاد والانفعال للنموذج الأول



الشكل (17–8): التماسك ومقاومة الضغط غير المحصور للنموذج الأول

تجربة رقم 18

الضغط ثلاثي المحاور

Tri-axial Compression

1.18 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- AASHTO T234.

2- ASTM D2850.

3- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

4- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

2.18 الغرض من التجربة Purpose

تخمين محددات مقاومة القص للتربةc و Φ باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور وفقاً للحالات الرئيسية التي سيتم توضيحها لاحقاً.

3.18 المعدات والأدوات Equipment

إن المعدات والأدوات الخاصة بتجربة الضغط ثلاثي المحاور (الشكل 18–1) هي كما يلي:

1- آلة تحميل الضغط يعمل كهربائيا.

2- حلقة قياس الحمل العمودي بدقة 0.01 كيلوجرام /سنتميتر^2.

3- آلة توليد الضغط المحيط بالعينة والحفاظ على قيمته وهي متصلة بخزان مملوء جزئيا بنفس نوعية السائل المحيط بالعينة، ويتصل الخزان من اعلى بجهاز توليد ضغط هواء حيث يتم

التحكم في الضغط عن طريق منظم ومقياس ضغط.

4- خلية الضغط الثلاثي وتتكون من أسطوانة مصنوعة عادة من البلاستيك الشفاف توضع داخلها عينة التربة الأسطوانية التي تغلف بغلاف مطاطي رقيق يثبت طرفه السفلى إلى قاعدة ارتكاز العينة وبقرص التحميل عند قمة العينة بحيث لا ينفذ من خلاله الماء إلى العينة ، يمكن من خلال هذه الخلية تسليط ضغط ثابت محيط عن طريق سائل أو هواء والضغط العمودي فيتم تسليطه بواسطة جهاز الضغط عن طريق قضيب ذي نهاية مستديرة تثبت على الوجه العلوي للعينة.

5 – قرص دائري من المعدن غير القابل للصدأ وذو صلابة عالية وبقطر يساوى قطر العينة.

6- مقياس استطالة بدقة لا تقل عن 0.025 ملميتر.

7- أغلفة مطاطية مانعة لتسرب المياه وخالية من أية ثقوب.

8- حلقات ربط دائرية من المطاط وذات قطر لا يزيد على 75% من قطر القرص.

9- أدوات تحضير وإعداد وتسوية العينة.

10- أداة لقياس أبعاد العينة بدقة لا تقل عن 0.1 ملميتر.

12- ميزان حساس بدقة (0.01 جرام).

الشكل (18–1):معدات أدوات تجربة الضغط ثلاثي المحاور

4.18 النظرية والتعريف Theory and Definition

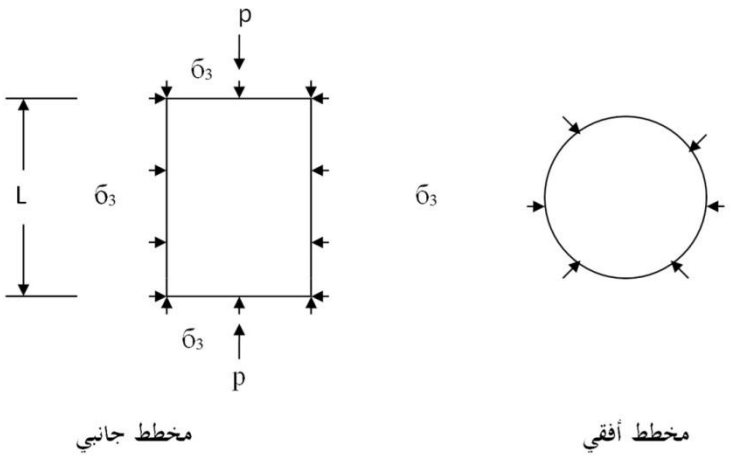
يجرى هذا الاختبار على مختلف الأنواع من التربة حيث يتم بتسليط ضغط عمودي باتجاه المحور هو $б_1$ وضغط عرضي $б_3$ على عينة تربة أسطوانية الشكل ذو مقدار قياسي للنسبة بين الطول L والقطر d للمقطع العرضي الذي يوضع داخل خلية زجاجية محكمة الإغلاق (الشكل 18–2) ، يتم أولاً تسليط مقدار ثابت من $б_3$ عن طريق الماء المضغوط داخل الخلية والذي يحيط بالنموذج من جميع الجوانب ثم بعد ذلك يتم تسليط قوة p باتجاه المحور تزداد تدريجياً مع قراءة التغير في طول النموذج ΔL لغاية الفشل.

عليه تكون الإجهادات كما يلي:

$$б_1 = б_3 + p/A \rightarrow p/A = б_1 - б_3$$

حيث أن A تمثل مساحة المقطع العرضي للعينة.

فيكون جهد الانحراف: $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$



الشكل (18–2): تسليط الإجهادات على عينة التربة

يمكن إجراء تجربة الضغط ثلاثي المحاور لأية حالة للتربة مشبعة تماما أو مشبعة جزئيا ويمكن كذلك تشكيل حالة الصرف أو عدم الصرف للماء المسامي داخل عينة التربة وعليه يمكن توضيح الحالات الثلاث الرئيسية التالية:

1- عدم الصرف – عدم الانضمام consolidation - undrained هو تعيين قيمة التماسك Cu للتربة الطينية المشبعة وذلك بتحميل العينة حملا عمودياً وهى محاطة بضغط منتظم باستخدام هواء أو سائل مضغوط بمقدار معين وتعيين فرق الإجهادات عند انهيار العينة أو عند وصول نسبة الانفعال العمودي إلى 20% من ارتفاع العينة أيهما يحدث الأول.

2- الانضمام - عدم الصرف consolidation - undrained هو تعيين قيمة محددات مقاومة القص للتربة الطينية المنضغطة عن طريق تعيين إجهاد الانهيار للعينة التي تحمل حملاً عمودياً وهى محاطة بضغط منتظم باستخدام هواء أو سائل، عند انهيار العينة، يبدا أولا بانضمام العينة تحت الضغط المحيط حيث يسمح بخروج الماء من العينة وبعد ذلك يغلق صمام صرف الماء لمنع خروجه من العينة.

3- الصرف والانضمام consolidation - drained هو تعيين قيمة محددات مقاومة القص للتربة المشبعة عن طريق تعيين الانهيار للعينة التي يتم تحميلها عمودياً وهى محاطة بضغط منتظم باستخدام الهواء أو السائل لغاية انهيار العينة، ويكون التحميل بصورة بطيئة من أجل السماح بخروج الماء من العينة وعدم السماح بتكوين ضغط ماء مسامي أثناء تسليط الحمل.

5.18 طريقة العمل Procedure

1- توزن العينة بالدقة المطلوبة وهي ذات أبعاد قياسية بحيث يجب ألاَ يقل قطر العينة عن 33 ملميتر، عندما تحوي العينة على حبيبات لا يزيد قياسها على عشر هذا القطر وألاَ يقل قطر العينة عن 71 ملميتر عندما تحوي العينة على حبيبات ذات قياس يزيد بمقدار 6/1 هذا القطر، كما أن طول العينة يتراوح بين 2 إلى 3 أضعاف قطر العينة.

2- يدهن سطح الغلاف المطاطي من الداخل بشحم السليكون ويربط إلى القالب وذلك بثني نهايتيه على القالب من اسفل ومن اعلى ويتم تفريغ الهواء المحبوس بين الغلاف وسطح القالب.

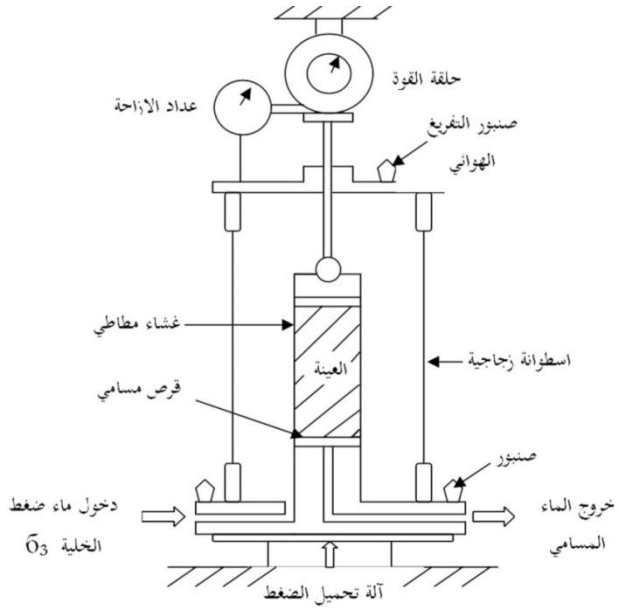
3- توضع العينة في الغلاف الذي تثبت إلى قاعدة الارتكاز بحلقة رباط مطاطية، ثم يوضع قرص التحميل على سطح العينة ويثبت عليه الغلاف بحلقة رباط وتركب خلية الضغط الثلاثي بحيث يكون محور العينة منطبقا على محور التحميل (الشكل 18-3).

4- يحرك قضيب الأحمال إلى الأسفل ويخفض ليلامس عدة مرات قرص التحميل ووضعه مع محور قرص التحميل، واذا كان وزن القضيب يزيد على 0.5% من الحمل يعاد القضيب ليلامس قرص التحميل قبل بدء الاختبار.

5- توصل أجهزة تسليط الضغط الجانبي وكذلك أجهزة التحكم فيه وتملا خلية الضغط الثلاثي بالسائل في حالة استخدامه بدلا من الهواء وتضبط الأجهزة لتسليط الضغط على سائل الخلية.

6- تسجل قيمة الضغط لسائل الخلية على قضيب الحمل الرأسي وكذلك ضغط احتكاكه ليتم تصحيح قراءة الأحمال العمودية المقاسة فيما بعد.

7- يترك الضغط المحيط على العينة لمدة عشر دقائق تقريبا ثم يبدأ في توقيع الحمل العمودي على العينة ليعطي انفعالا مقداره 1 % من ارتفاع العينة خلال الدقيقة.



الشكل (18–3): تركيب وتثبيت خلية الضغط ثلاثي المحاور

6.18 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أُجري اختبار عدم الصرف – عدم التصلب على عينة تربة مختلطة مشبعة جزئياً والموصفة ضمن البيانات المرفقة بالجدول (18–1) حيث أن القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات مبينة في الجدول (18–2) وتفصيلها حسابات القراءة الثانية كما يلي:

1– تحسب المساحة الابتدائية للمقطع العرضي للعينة A_0:

$$A_0 = \pi(D^2)/4 = \pi(33.4)^2/4 = 876\ mm^2 = 8.76\ cm^2$$

2– يحسب الانفعال العمودي للعينة تحت تأثير الحمل الأول:

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 = 0.35 / 70.9 = 0.0049$$

3- يحسب الحمل الناتج P على العينة:

P = قراءة حلقة قياس الحمل × معامل المعايرة

$P = 7.1 \times 5.681 = 40.3$ نيوتن

4- تحسب المساحة ال مصححة`A للعينة:

$$A` = A_0 / (1-\varepsilon) = 8.76 / (1- 0.0049) = 8.80 \text{ cm}^2$$

5- يحسب جهد الانحراف σ_d:

$$\sigma_d = P/A` = 40.3 /8.8 = 4.58 \text{ N/cm}^2 = 45.8 \text{ kN/m}^2$$

6- نتائج الحسابات لجميع القراء آت موضحة في الجدول (18-2).

7- ترسم العلاقة بين الانفعال المحوري ε وجهد الانحراف σ_d كما هو موضح في الشكل (18-4) ثم تستخرج قيمة الانحراف عند الانهيار $(\sigma_d)_f$ = 600 كيلو نيوتن\متر^2.

8- من معرفة مقدار ضغط الخلية σ_3 = 395 كيلو نيوتن\متر^2 الذي يمثل الإجهاد الثانوي يحسب الإجهاد الرئيسي σ_1 عند الانهيار كالتالي:

$$\sigma_1 = (\sigma_d)_f + \sigma_3 = 600 + 395 = 995 \text{ kN/m}^2$$

9- يتم عادةً إجراء اثنتين أو ثلاث تجارب على نفس التربة بقيم مختلفة من ضغط الخلية، عليه أجريت تجربة ثانية بضغط خلية σ_3 = 98 كيلو نيوتن\متر^2 حيث كان الإجهاد الرئيسي

σ_1 = 353 كيلو نيوتن\متر^2، ترسم دوائر مور للتجربتين بقيمة σ_3 , σ_1 عند الانهيار حيث يكون المماس لها يمثل مقياس الفشل وبالتالي قياس مقدار التماسك C وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ لهذه التربة كما هو موضح بالشكل (18–5):

$$C = 50\ kN/m^2,\ \phi = 22$$

تفاصيل النتائج

نوع التجربة: عدم الصرف – عدم التصلب وصف التربة: طين غريني Silty Clay ضغط الخلية: 395 كيلو نيوتن\متر^2 معامل المعايرة لحلقة الحمل: 5.681 نيوتن\تدريجة

الموقع: .....

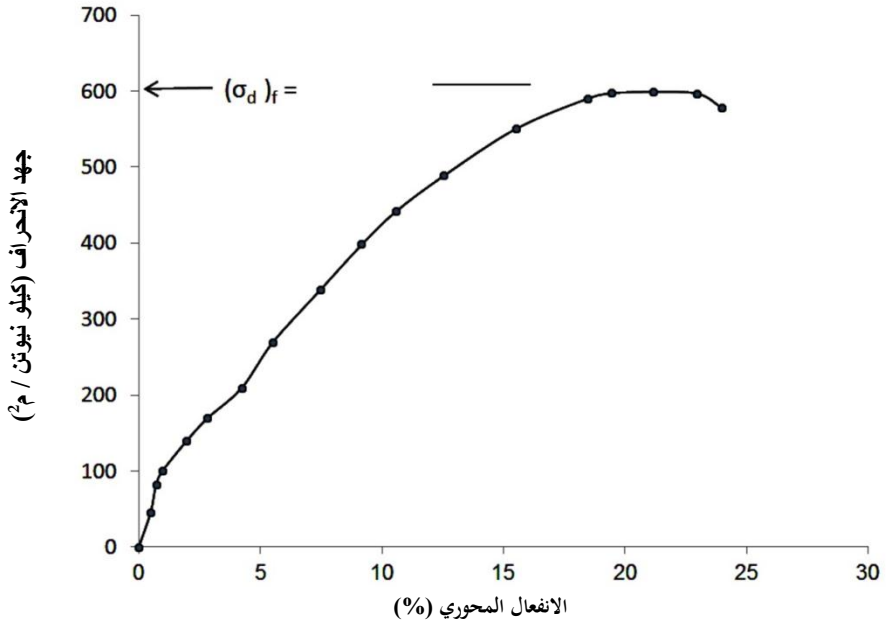
مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

الجدول (18–1): البيانات المتعلقة بعينة التربة

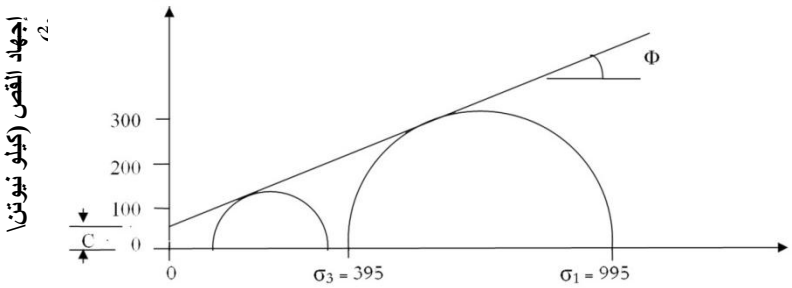
الوصف	القيمة
متوسط قطر المقطع العرضي (ملميتر)	33.4
متوسط الطول (ملميتر)	70.9
المساحة الابتدائية للمقطع العرضي (سنتميتر^2)	8.76
الوزن النوعي للحبيبات الصلبة Gs	2.71
الكثافة الرطبة (كيلو نيوتن\متر^3)	19.0
الكثافة الجافة (كيلو نيوتن\متر^3)	16.7
محتوى الماء (%)	13.7
درجة الإشباع (%)	53

الجدول (18–2): القراءات ونتائج الحسابات

تشوه العينة ΔL (ملميتر)	الانفعال المحوري ε	قراءة حلقة الحمل (تدريجة)	الحمل العمودي P (نيوتن)	المساحة المصححة A` (سنتميتر^2)	جهد الانحراف σ_d (كيلو نيوتن\متر^2)
0	0	0	0	8.76	0
0.35	0.0049	7.1	40.3	8.80	45.8
0.50	0.0071	12,7	72.1	8.82	81.8
0.70	0.0099	15.7	89.2	8.85	100.8
1.40	0.0197	22.0	125.0	8.94	139.8
2.00	0.0282	26.9	152.8	9.01	169.6
3.00	0.0423	33.7	191.5	9.15	209.3
3.90	0.0550	43.9	249.4	9.27	269.0
5.30	0.0748	56.5	321.0	9.47	339.0
6.50	0.0917	67.6	384.0	9.64	398.3
7.50	0.1058	76.2	432.9	9.80	441.7
8.90	0.1255	86.2	489.7	10.02	488.7
11.00	0.1551	100.5	570.9	10.37	550.5
13.10	0.1848	111.7	634.6	10.75	590.3
13.80	0.1946	114.4	649.9	10.88	597.3
15.00	0.2116	117.2	665.9	11.11	599.4
16.30	0.2299	119.5	678.9	11.38	596.6
17.00	0.2398	117.3	666.4	11.52	578.5



الشكل (18–4): العلاقة بين الانفعال المحوري ε وجهد الانحراف σ_d



الشكل (18-5): دوائر مور للإجهاد عند فشل العينة

7.18 ملاحظات عامة General Notes

1- عند إجراء اختبار الضغط غير المحصور للتربة الطينية المشبعة تكون النتائج نفسها في

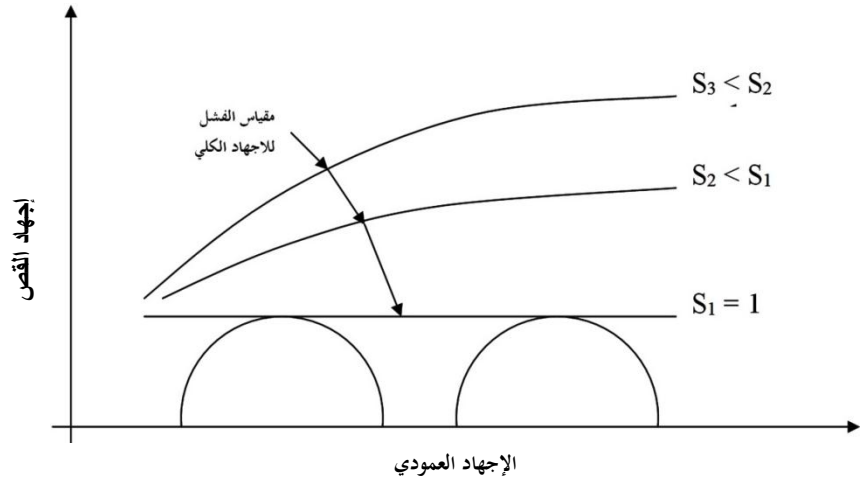
اختبار الضغط الثلاثي المحاور لحالة عدم التصريف – عدم التصلب وبما أنσ_3 = 0 في الضغط غير المحصور فان نتائج الضغط ثلاثي المحاور تكون افضل.

2– عند إجراء اختبار الضغط ثلاثي المحاور لحالة التصلب–عدم الصرف فان التماسك $C_u = 0$ للتربة الطينية عادية التصلب ويكون مقداره > 0 للتربة الطينية عالية التصلب.

3– عند إجراء الاختبار في حالة عدم الصرف يكون مقدار ضغط الماء المسامي u عند فشل العينة معتمداً على العامل A^- الذي يتعلق بدرجة التشبع للعينة ونوع التربة:

نوع التربة	مقدار A^- عند الفشل
تربة طينية عالية الحساسية	0.75 إلى 1.5
تربة طينية عادية التصلب	0.5 إلى 1.0
تربة طينية عالية التصلب	0.5 إلى 0.0
تربة طينية رملية مدموكة	0.5 إلى 0.75

4– الشكل (18 - 6) يوضح مقياس موهر المأخوذ من اختبار عدم الصرف – عدم التصلب لدرجات مختلفة من التشبع، فيكون مقياس موهر للعينة المشبعة تماماً (S = 1) أفقيا حيث أن زاوية الاحتكاك الداخلي = صفر، أما عندما تكون التربة في حالة الإشباع الجزئي (S < 1) فإن مقياس موهر للفشل يكون اعلى وبالتالي تكون زاوية الاحتكاك الداخلي أكبر من الصفر.



الشكل (18–6): منحنيات الفشل للإجهاد الكلي حسب درجة إشباع العينة

تجربة رقم 19

مروحة القص

Vane Shear

1.19 المصادر والمواصفات المعتمدة References and Specifications

1- Bowles, J. E., 1996. Foundation analysis and design, 5th Edition, the McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.

2- Head, K. H., 1982. Manual of soil laboratory testing, Volume 2, Pentech Press, London, UK.

2.19 الغرض من التجربة Purpose

هو تخمين مقاومة القص للتربة المتماسكة المشبعة بالماء باستخدام طريقة مروحة القص.

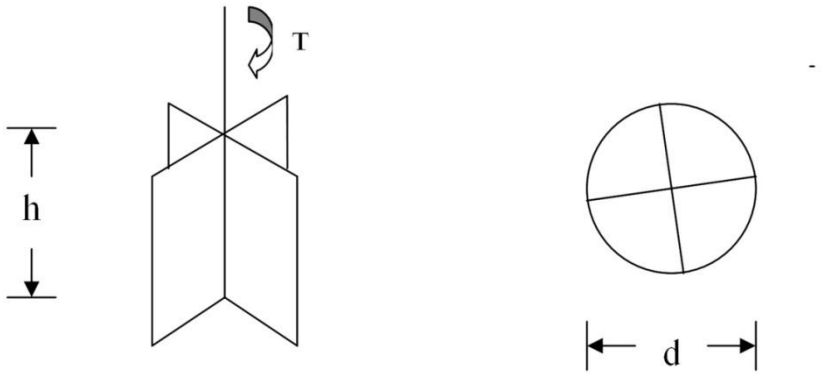
3.19 المعدات والأدوات Equipment

1- آلة مروحة القص وتتكون من مروحة بأربع ريشات رقيقة كل منها على هيئة مستطيل وعادةً يكون ارتفاع الريشة ضعف قطرها، لآلة القص المعملية (الشكل 19–1) تكون المروحة مثبتة بطريقة عمودية إلى طرف قضيب حيث يتصل عند طرفه الأخر بعداد قياس العزم المحوري.

2- آلة القص الحقلية (الشكل 19–2) يرتبط محور المروحة بعداد مقاومة القص، وتستخدم أسطوانة قياسية للعينة تثبت بقاعدة الآلة المعملية وأداة تسوية خاصة .

4.19 النظرية والتعريف Theory and Definition

يستخدم هذا الاختبار لتخمين مقاومة القص للتربة المتماسكة مثل الطين، بعد تعديل سطح العينة بحيث يصبح مستوياً باستخدام الأداة الخاصة مع الاحتفاظ بالعينة داخل الأسطوانة لتلافي خلخلة التربة ويجرى الاختبار بقص جزء أسطواني من التربة عن طريق دوران المروحة تحت تأثير عزم محوري، إن دوران المروحة داخل التربة يجعل سطح الفشل أسطواني الشكل معتمداً ذلك على قطر المروحة d وارتفاعها h:



الشكل 19-1

إن حساب مقدار مقاومة القص لعينة التربة C من الاختبار المعملي يتم من معرفة مقدار عزم دوران المروحة T عند فشل العينة الذي يعتمد على زاوية دوران نابض المروحة عند الفشل θ_f والثابت k الخاص بالنابض حيث يمكن حساب العزم من مخطط خاص أو من العلاقة التالية:

$$T = k\,\theta_f$$

يتم حساب مقاومة القص C للتربة من معرفة أبعاد المروحة المستخدمة في الاختبار وكما يلي:

$$T = \pi C(d^2h/2 + ad^3/4)$$

إن المقدار a يمثل ثابت ويساوي 2/3 أو 3/5 أو 1/2 والمقدار الأكثر استخداماً هو 2/3 وعليه فأن:

$$T = \pi C(d^2h/2 + d^3/6)$$

حيث أن:

العزم T يقاس بوحدة قوة طول (نيوتن . ملميتر)

مقاومة القص C تقاس بوحدة الإجهاد (نيوتن/ملميتر^2)

الثابت k بوحدة (نيوتن . ملميتر / درجة)

الزاوية θ_f بالدرجات

أبعاد المروحة d , h بوحدة طول (ملميتر)

الشكل (19–1): آلة مروحة القص المعملية

الشكل (19–2): آلة مروحة القص الحقلية

5.19 طريقة العمل Procedure

1- تثبت أسطوانة العينة بقاعدة الآلة بحيث يكون سطح التربة أفقيا ويتم تحريك المروحة رأسيا إلى أن تلامس سطح التربة، تغرز المروحة داخل عينة التربة بمعدل ثابت وبانتظام إلى أن تكون بالكامل في العينة وبدون دوران المروحة أثناء الغرز.

2- يوضع مؤشر قياس زاوية العزم المحوري على الصفر ثم يبدا بتسليط العزم بمعدل ثابت يتراوح بين 0.1 – 1 درجة/ثانية حسب قوة تماسك التربة.

3- تسجل زاوية دوران النابض عند لحظة فشل العينة والتي تعبر عن مؤشر القراءة القصوى لعزم الدوران المسلط على العينة (الشكل 19–3).

4- يكرر الاختبار على العينة لأكثر من نقطة لغرض الاعتماد على متوسط القراءات.

6.19 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة ضمن المعلومات المرفقة بالجدول (19–1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها ونتائج الحسابات حيث تفاصيلها للنقطة رقم (1) هي كما يلي:

1- بعد تسجيل زاوية دوران نابض المروحة عند فشل العينة $\theta_f = 33^0$ (الشكل 19–3) وهي تساوي:

الزاوية الكلية لدوران المروحة – زاوية دوران المروحة بعد الفشل

$$^0 33 = ^0 18 - ^0 51$$

ومن معرفة ثابت النابض k = 3.14 نيوتن . ملم/درجة يتم حساب عزم الدوران الناتج T:

$$T = k\,\theta_f = 3.14 \times 33 = 103.6\ N.mm$$

2- بعد معرفة أبعاد المروحة وهي d = h = 12.7 ملميتر يتم حساب مقاومة القص للتربة من المعادلة التالية:

$$T = \pi C (d^2h/2 + d^3/6)\ (N/mm^2)$$

$$C = 1000\,T / (\pi (d^2 h/2) + (d^3/6))\ (kN/m^2)$$

$$C = 1000 \times 103.6 / (3.14(12.7^2 \times 12.7/2) + (12.7^3/6))$$

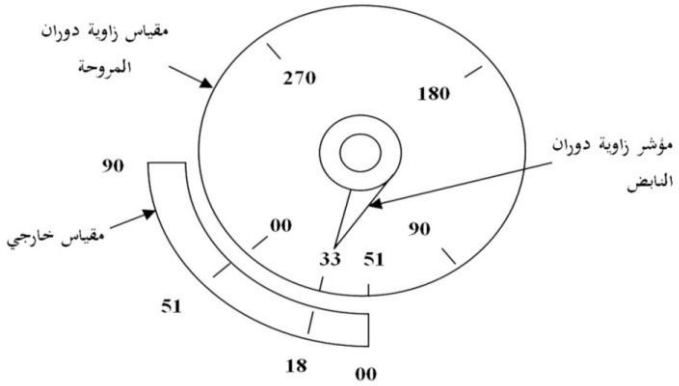
$$C = 24.1\ kN/m^2$$

3- تعاد الخطوات 1 و 2 على النقطة الثانية حيث كانت زاوية دوران نابض المروحة عند الفشل $\theta_f = 34^0$ وباستخدام نفس المروحة والنابض حيث كان مقدار مقاومة القص:

$$C = 24.9 \text{ kN/m}^2$$

4- تحسب القيمة المتوسطة لمقاومة القص للنقطتين:

$$C_{av.} = (24.1 + 24.9) / 2 = 24.5 \text{ kN/m}^2$$



الشكل (19–3): قياس زاوية الدوران

الجدول (19–1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: طين غريني Silty Clayرقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: .....التاريخ: .....

رقم النقطة	1	2
قطر المروحة d (ملميتر)	12.7	12.7
ارتفاع المروحة h (ملميتر)	12.7	12.7
ثابت النابض k (نيوتن . ملميتر/درجة)	3.14	3.14
زاوية دوران نابض المروحة θ_f (درجة)	33	34
عزم الدوران الناتج T (نيوتن . ملميتر)	103.6	106.8
مقاومة القص C (كيلو نيوتن\متر^2)	24.1	24.9

7.19 ملاحظات عامة General Notes

1- إن زيادة معدل تسليط عزم الدوران عن الحد المناسب يؤدي إلى قراءات للزاوية θ_f اكبر من القراءات الحقيقية كما يجب تقليل هذا المعدل كلما زاد تماسك التربة.

2- يفضل تسجيل القراءات كل 15 ثانية حيث أن مرور الفترة الزمنية قد يسبب نقصان المحتوى المائي لعينة التربة وبزيادة مقاومة القص.

3- يستوجب استخدام نابض ومروحة تتناسب وقوام التربة ، فعندما تكون التربة قاسية القوام يكون النابض الصلب والمروحة ذات الأبعاد الصغيرة أكثر مناسبة والعكس صحيح .

4- يمكن تخمين قوام التربة من الجدول أدناه وذلك من معرفة مقاومتها للقص حيث أن مقاومة عينة التربة كانت تساوي 24.5 كيلو نيوتن\متر^2 وبالتالي تعتبر العينة ضعيفة القوام.

أقصى مقاومة قص (كيلو نيوتن\متر^2)	قوام التربة
20	ضعيفة جداً
40	ضعيفة
60	ضعيفة إلى قاسية
90	قاسية

تجربة رقم 20

اختراق المخروط

Cone Penetrometer

1.20 المصادر والمواصفات References and Specification

1- BS 1377: 1975, Test 2A

2- Head, K. H., 1982. Manual of soil laboratory testing, Volume 2, Pentech Press, London, UK.

2.20 الغرض من التجربة Purpose

تجرى هذه التجربة من أجل تخمين حد السيولة .L.L للتربة باستخدام آلة اختراق المخروط وكذلك تخمين حد اللدونة .P.L ثم حساب مؤشر اللدونة .P.I

3.20 المعدات والأدوات Equipment

1- آلة اختراق المخروط (الشكل 20–1) حسب متطلبات المواصفة BS 4691.

2– مخروطاً معدنياً قياسياً ذا أوجه ملساء ونهاية مدببة وبأبعاد قياسية (الشكل 20–2) وهو يرتبط بالآلة ويحمل المواصفات التالية:

الكتلة متضمنة المحور المنزلق = 80 جرام.

الطول = 35 ملميتر وقطر المقطع العرضي =20.3 ملميتر وبزاوية ميل النهاية المدببة = 30^0

3- لوحاً معدنياً قياسياً خاصاً بالمخروط بسمك = 1.75 ملميتر، ذو فجوة وسطية بقطر = 1.50 ملميتر.

4- أدوات خلط وتحضير عجينة عينة التربة مع قطارة ماء ووعاء محكم الغلق.

5- حافة معدنية مستقيمة وغربال قياس 0.425 ملميتر.

6- كأساً معدنياً أسطوانياً الشكل بقطر 55 ملميتر.

7- أدوات تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

4.20 النظرية والتعريف Theory and Definition

تعتمد هذه التجربة على مبدأ اختراق المخروط القياسي بعجينة التربة ذات الحبيبات العابرة من غربال قياس 0.425 ملميتر. حيث أن حد السيولة يمثل المحتوى المائي للعينة عندما يكون مقدار الاختراق مساوياً إلى 20 ملميتر، يتم إجراء عدة محاولات لعملية اختراق المخروط بقيم مختلفة للمحتوى المائي لعجينة العينة وتسجل مقادير هذا الاختراق مع تخمين المحتوى المائي لكل محاولة (تجربة رقم 4).

يتم رسم العلاقة البيانية بين المحتوى المائي للمحاولات ومقدار اختراق المخروط لها وهي عبارة عن علاقة خطية ويكون حد السيولة لهذه التربة هو المقدار الذي يقابل اختراقا مساوياً إلى 20 ملميتر.

الشكل (20–1): آلة اختراق المخروط

5.20 طريقة العمل Procedure

إن طريقة عمل هذه التجربة تتشابه في بعض خطواتها مع تجربة رقم 7 وهي كما يلي:

1- تحضر عينة بوزن 200 إلى 250 جرام. من التربة العابرة من غربال 0.425 ملميتر، لتوضع على اللوح الزجاجي الخاص حيث تخلط وتعجن التربة جيداً بعد إضافة الماء المقطر إليها بشكل تدريجي إلى حين الحصول على عجينة مرنة نسبياً.

2- توضع العجينة في وعاء محكم الغلق لتترك في مكان بارد نسبياً لمدة 24 ساعة أو خلال الليل فقط وذلك من أجل السماح لماء العينة بالانتشار بشكل متجانس فيها، تعتمد

الفترة الزمنية هذه على نوع التربة حيث يمكن إلغاؤها عندما تكون التربة حاوية على نسبة قليلة من الطين.

3- يتم تحضير آلة وأدوات الاختراق والتأكد من أن سقوط المخروط يكون بشكل حر كما ويجب أن يكون المحور المنزلق للآلة جافاً ونظيفاً.

4- تستخرج العينة من الوعاء المحكم الغلق وتخلط لمدة 10 دقائق ويمكن أن يستمر لمدة 45 دقيقة للتربة الطينية الثقيلة ويحرص على أن تكون عملية الخلط في منطقة صغيرة للوح الزجاجي كي لا تتعرض العينة إلى عملية تبخر عالية وبالتالي تقليل المحتوى المائي.

5- توضع عجينة التربة في الكأس الأسطواني وتضغط في منطقة الوسط بمساعدة سكين الخلط وذلك لتلافي تكوين الفجات الهوائية في العينة مع تعديل الوجه العلوي لها بشكل نهائي ليوضع الكأس الحاوي للعينة على قاعدة آلة الاختراق.

6- يتم تنزيل المخروط على العينة بهدوء واعتناء بحيث تكون النهاية السفلى المدببة بتماس مع وجه العينة ويحرك الكأس أفقياً ليلاحظ أن هذه النهاية مجرد أن تترك أثراً شعيرياً على الوجه، يقرأ عداد الاختراق للآلة على أن يكون المخروط فوق مركز الكأس وتسجل هذه القراءة لدقة 0.1 ملميتر، حيث تمثل القراءة R_1.

7- يترك المخرط اً للنزول بشكل حر في العينة وذلك بالضغط على المفتاح الخاص لهذا الغرض ليستمر الاختراق لمدة 5 ثواني بعدها يثبت المخروط مرةً أخرى عن طريق المفتاح

الخاص مع تلافي أية حركة للآلة والعينة خلال هذه العملية ، يتم قراءة عداد الاختراق للآلة وتسجل لدقة 0.1 ملميتر. حيث تمثل القراءة R_2.

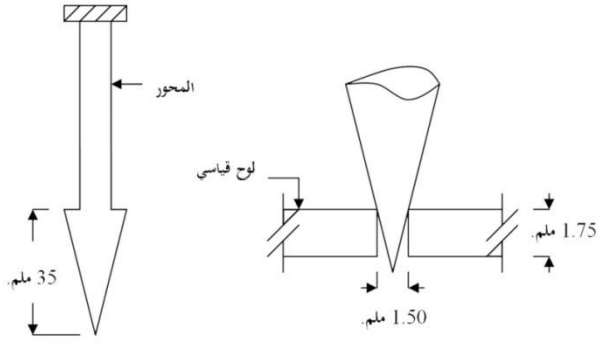
8- يتم رفع المخروط وتضاف تربة رطبة إلى العينة في الكأس وتخلط جيداً وتضغط في الوسط لتلافي تكوين الفجوات ويعدل وجهها ثم تعاد الخطوات 6 و 7.

9- إذا كانت القراءة الأولى للعداد تختلف عن القراءة الثانية بمقدار لا يتجاوز 0.5 ملميتر. تؤخذ القيمة المتوسطة للقراءتين، وإذا كان الفرق في القراءتين بين 0.5 و 1 ملميتر. تسجل قراءة ثالثة ويؤخذ متوسط القراءات الثلاث بشرط ألاَ يتجاوز الفرق في القراءة الثالثة عما ملم، أما إذا كان هذا الفرق أكثر من 1 ملميتر. يتم إخراج العينة من الكأس تعاد التجربة.

10- بعد نجاح المحاولة في الخطوة السابقة تؤخذ عينة تربة بحدود 10 جرام. من منطقة اختراق الم المخروط لغرض تخمين المحتوى المائي (تجربة رقم 4).

11- يتم إعادة التجربة لثلاث أو أربع محالات إضافية بتغيير مقدار المحتوى المائي وذلك بزيادة قليلة لماء العينة.

12- تجرى خطوات تجربة تخمين حد اللدونة (تجربة رقم 7) على نفس التربة وذلك من أجل تخمين مقدار مؤشر اللدونة.



الشكل (20-2): تفاصيل المخروط القياسي

6.20 الحسابات والنتائج Calculation and Results

أجريت التجربة على عينة التربة الموصفة برفقة الجدول (20–1) الذي يبين القراءات التي تم الحصول عليها وكذلك نتائج الحسابات حيث تفاصيلها كما يلي:

1– إن حساب المحتوى المائي لكل محاولة المبينة نتائجه في الجدول (20–1) يكون بنفس الخطوات الموضحة في التجربة رقم 4.

2– يتم رسم العلاقة البيانية (الشكل 20–3) بين المحتوى المائي على المحور الأفقي وقراءة اختراق المخروط على المحور العمودي حيث تكون علاقة خطية.

3– تسقط من المحور العمودي لهذه العلاقة الخطية قراءة اختراق المخروط 20 ملميتر. ثم يحدد بالمقابل على المحور الأفقي مقدار المحتـوى المائي لها الذي يمثل حد السيـولة Liquid Limit للتربة:

Liquid Limit L.L. = 63.5 %

4- يتم حساب مقدار حد اللدونة Plastic Limit للتربة (تجربة رقم 7):

Plastic Limit P.L. = 27 %

5- يحسب مقدار مؤشر اللدونة Plasticity Index كما يلي:

Plasticity Index P.I. = L.L. – P.L. = 63.5 – 27 = 36.5 %

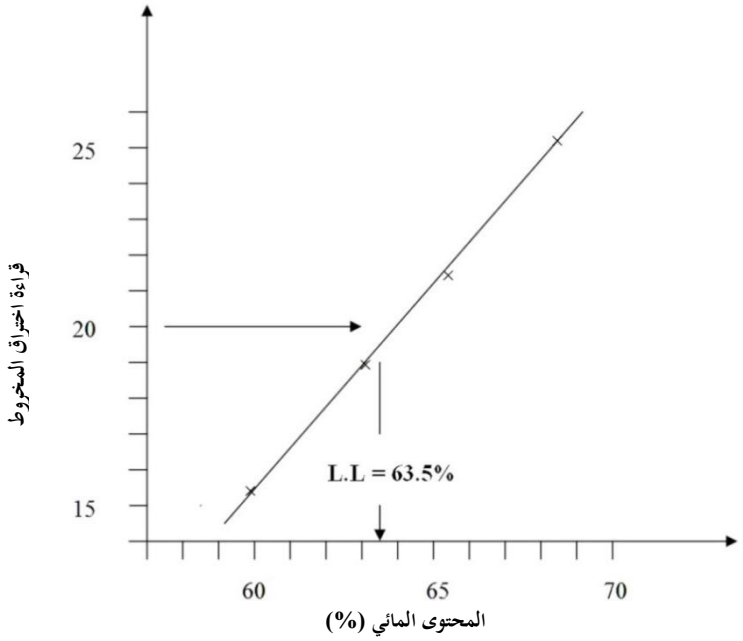
الجدول (20–1): القراءات ونتائج الحسابات

وصف التربة: طين غريني Silty Clay رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

رقم المحاولة	1	2	3	4
اختراق المخروط (ملميتر)	15.1 - 15.3	19.0 - 19.0	21.8 - 22.0	25.2 - 25.4
متوسط الاختراق (ملميتر)	15.2	19.0	21.9	25.3
رقم علبة الرطوبة	20	56	59	62
وزن العلبة فارغة (جرام)	8.31	8.35	8.26	8.29
وزن العلبة والتربة الرطبة (جرام)	46.78	57.20	63.60	71.72
وزن العلبة والتربة الجافة (جرام)	32.51	38.31	41.64	45.78
وزن التربة الجافة (جرام)	24.20	29.96	33.38	37.49
وزن ماء التربة (جرام)	14.27	18.89	21.96	25.94
المحتوى المائي للتربة (%)	58.97	63.06	65.79	69.19



الشكل (20–3):العلاقة بين المحتوى المائي وقراءة اختراق المخروط

7.20 ملاحظات عامة General Notes

أن العلاقة بين المحتوى المائي وقراءة اختراق المخروط يجب أن تكون علاقة خطية أي أن غالبية الإحداثيات تشكل خطاً مستقيماً وعندما تكون التجربة مثالية ودقيقة في خطوات عملها فإن الإحداثيات جميعها ستقع على خط مستقيم واحد وبالتالي يكون مقدار حد السيولة أكثر دقة، يمكن مقارنة نتيجة هذه التجربة مع نتيجة طريقة كازاكراندي (تجربة رقم 7) عند إجرائها على عينة من نفس التربة، عند تخمين حد اللدونة (تجربة رقم 7) وحساب مؤشر اللدونة لهذه التربة يمكن الاعتماد على مقداره لتحديد نوع حبيبات التربة الناعمة حيث أنه بزيادة نسبة الطين يزداد مقدار مؤشر اللدونة وبالعكس يقل المقدار بزيادة نسبة الغرين.

الملاحق

ملحق رقم 1

العلاقات الأساسية للتربة

Basic Relationships

إن العلاقات الوزنية والحجمية الأساسية في ميكانيكا التربة يمكن توضيحها أدناه باعتبار أن الرموز العلمية المستخدمة فيها هي:

e = void ratio نسبة الفجوات

n = porosity المسامية

G = specific gravity of solids الوزن النوعي للحبيبات الصلبة

S = degree of saturation الإشباع درجة

A = air content محتوى الهواء

V = total volume of soil الحجم الكلي للتربة

V_s = volume of solids حجم الحبيبات الصلبة

V_v = total volume of voids الحجم الكلي للفجوات

V_w = volume of water voids حجم الفجوات المائية

V_a = volume of air voids حجم الفجوات الهوائية

W = total weight of soil الوزن الكلي للتربة

W_s = weight of solids وزن الحبيبات الصلبة

W_w = weight of water voids وزن ماء الفجوات

ω = water content المحتوى المائي

γ = total unit weight الكثافة الوزنية الكلية

γ_d = dry unit weight الكثافة الوزنية الجافة

γ_w = unit weight of water الكثافة الوزنية للماء

العلاقات الحجمية:

$$e = V_v / V_s = n / (1- n)$$

$$n = V_v / V = e / (1+e)$$

$$S = V_w / V_v$$

$$A = V_a / V$$

العلاقات الوزنية:

$$\omega = W_w / W_s$$

$$\gamma = W / V$$

$$\gamma_d = W_s / V$$

$$\gamma_w = W_w / V_w$$

$$G = W_s / (V_s \gamma_w)$$

ملحق رقم 2

أوراق بيانات التجارب

Data Test Sheets

التحليل الحبيبي للتربة الخشنة الحبيبات

Particle Analysis for Coarse Soil

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

وزن العينة المجففة بالفرنW: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

عمود (1) مقاس المنخل	عمود (2) فتحة المنخل (ملميتر)	عمود (3) وزن التربة المحجوزة (جرام)	عمود (4) الوزن التراكمي للتربة المحجوزة (جرام)	عمود (5) نسبة التراكمي للمحجوز (%)	عمود (6) نسبة المار (%)

التحليل الحبيبي للتربة الناعمة الحبيبات

Particle Analysis for Fine Soil

وصف التربة:..... الوزن النوعي G للتربة: .....

وزن العينة: :..... رقم العينة: : .....

رقم آلة المكثاف: :..... التصحيح الصفري: : .....

تصحيح التقعر : :..... المادة المشتتة: : .....

مختبرة بواسطة: :..... التاريخ: :.....

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
التاريخ	وقت القراءة	الزمن التراكمي (دقيقة)	درجة الحرارة ($م^0$)	القراءة الحقيقية (Ra)	القراءة المصححة (Rc)	النسبة العابرة (%)	القراءة مصححة للتقعر (Rm)	L (سنتمتر)	L/t (سنتمتر/دقيقة)	k	D (ملمتر)

المحتوى المائي Water – Content Determination

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

التفاصيل	رقم العينة		
	1	2	3
رقم العلبة			
وزن العلبة W_1 (جرام)			
وزن العلبة + وزن التربة رطبة W_2 (جرام)			
وزن العلبة + وزن التربة جافة فرنياً W_3 (جرام)			
وزن الماء W_w (جرام)			
وزن التربة جافة W_s (جرام)			
المحتوى المائي $\omega(\%)$			
متوسط المحتوى المائي $\omega_{av.} = \%$			

الوزن النوعي Specific Gravity

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

درجة حرارة الاختبار: ..... A : .....

الوصف	رقم التجربة		
	1	2	3
رقم القنينة			
وزن القنينة مملؤة بالماء إلى العلامة W_1 (جرام)			
وزن القنينة + التربة ومملؤة بالماء إلى العلامة W_2 (جرام)			
وزن الحبيبات الصلبة W_S (جرام)			
وزن الماء W_w (جرام)			
الوزن النوعي عند درجة حرارة الاختبار $G_{S\ (T1^oc)}$			
الوزن النوعي عند درجة الحرارة القياسية $G_{S\ (20^oc)}$			
G_s = متوسط الوزن النوعي			

الكثافة الظاهرية Bulk Density

وصف التربة: ..... رقم العينة: 1

كثافة الشمع: ..... الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

رقم العينة	1	2
الوزن الكلي للعينة W_t (جرام)		
وزن العينة مغلفة بالشمع W_p(جرام)		
وزن الشمع W_p (جرام)		
حجم العينة مغلفة بالشمع V_{pt} (سنتميتر^3)		
الكثافة الكلية γ_t (جرام/سنتميتر^3)		
المحتوى المائي (%)		
الكثافة الجافة γ_d (جرام/سنتميتر^3)		

حدود القوام Consistency Limits

وصف التربة: ..... رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

اختبار حد السيولة

رقم المحاولة	1	2	3	4
رقم العلبة				
وزن العلبة فارغة W_1 (جرام)				
وزن العلبة +وزن التربة رطبة W_2 (جرام)				
وزن العلبة +وزن التربة جافة W_3 (جرام)				
محتوى الرطوبة ω (%)				
عدد الضربات N				

حدود القوام Consistency Limits

وصف التربة: ..... رقم العينة: 1

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

اختبار حد اللدونة

رقم المحاولة	1	2
رقم العلبة		
وزن العلبة فارغة W_1 (جرام)		
وزن العلبة +وزن التربة رطبة W_2 (جرام)		
وزن العلبة +وزن التربة جافة W_3 (جرام)		
محتوى الرطوبة ω (%)		

الدمك المعملي Laboratory Soil Compaction

نوع التجربة:

صنف التربة: ..... الوزن النوعي للتربة: .....

حد اللدونة: ..... حد السيولة: .....

قطر القالب: ..... ارتفاع القالب: .....

حجم القالب: ..... وزن المطرقة: .....

عدد طبقات التربة: ..... عدد إسقاطات المطرقة / الطبقة: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

حسابات المحتوى المائي

رقم العينة	1		2		3		4		5	
رقم علبة الرطوبة										
وزن العلبة فارغة (جرام)										
وزن العلبة + تربة رطبة (جرام)										
وزن العلبة + تربة جافة (جرام)										
وزن الماء (جرام)										
وزن التربة جافة (جرام)										
المحتوى المائي (%)										

حسابات الكثافة

المحتوى المائي (%)						
وزن التربة + القالب (جرام)						
وزن القالب (جرام)						
وزن التربة (جرام)						
الكثافة الرطبة (جرام/سنتميتر^3)						
الكثافة الجافة (جرام/سنتميتر^3)						
الكثافة الجافة (جرام/سنتميتر^3) عند خط التشبع						

الكثافة الحقلية بطريقة الإحلال الرملي

Felid Density by Sand – Cone apparatus Method

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

المعايرة المعملية	القيمة
الوزن الكلي للرمل في القنينة قبل الاستخدام (جرام)	
الوزن المتبقي للرمل في القنينة بعد الاستخدام (جرام)	
وزن الرمل في القالب (جرام)	
حجم القالب (سنتميتر^3)	
كثافة الرمل γ_{sand} (جرام\سنتميتر^3)	
وزن الرمل في المخروط (جرام)	
الاختبار الحقلي	
الوزن الكلي للرمل في القنينة قبل الاختبار (جرام)	
الوزن المتبقي للرمل في القنينة بعد الاختبار (جرام)	
وزن الرمل في الحفرة (جرام)	
حجم الحفرة (سنتميتر^3)	
وزن التربة المستخرجة من الحفرة (جرام)	
الكثافة الرطبة للتربة في الحقل γ_{wet} (جرام)	
محتوى الرطوبة في الحقل ω (%)	
الكثافة الجافة للتربة في الحقل γ_{dry} (جرام\سنتميتر^3)	

الكثافة الحقلية بطريقة القاطع الأسطواني

Field Density by Core Cutter Method

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

H ارتفاع القاطع:..... D قطر القاطع :.....

رقم النقطة	1	2
وزن القاطع (جرام)		
وزن القاطع + العينة (جرام)		
وزن العينة (جرام)		
حجم القاطع (سنتميتر^3)		
الكثافة الكلية (جرام/سنتميتر^3)		
المحتوى المائي(%)		
الكثافة الجافة (جرام/سنتميتر^3)		

الكثافة النسبية Relative Density

وصف التربة ..... رقم العينة .....

الموقع .....

مختبرة بواسطة..... التاريخ .....

رقم النقطة	1	2	3
وزن التربة الجافة m_s (جرام)			
الحجم المعاير للقالب V_c (سنتميتر^3)			
حجم التربة بعد الاهتزاز V_s (سنتميتر^3)			
الكثافة الصغرى للتربة γ_{dmin}(جرام\سنتميتر^3)			
الكثافة القصوى للتربة γ_{dmax} (جرام\سنتميتر^3)			
الكثافة الجافة للتربة في الموقع (جرام\سنتميتر^3)			
الكثافة النسبية (%)			
متوسط الكثافة النسبية (%)			

نفاذية التربة بطريقة الضغط الثابت

Soil Permeability by Constant Head Method

وصف التربة:..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

البيانات الخاصة بعينة التربة

الوصف	القيمة
حجم العينة V (سنتمتر^3)	
الوزن النوعي G	
وزن مجموعة الخلية W_1 (جرام)	
وزن (العينة + مجموعة الخلية) W_2 (جرام)	
الوزن الجاف للعينة W_s (جرام)	
الكثافة الجافة للعينةγ_d (جرام/سنتمتر^3)	
نسبة الفجوات e	

القراءات ونتائج الحسابات

رقم المحاولة	1	2	3
حجم ماء التصريف Q (سنتمتر^3)			
الفترة الزمنيةt (ثانية)			
درجة حرارة الماء C^0			
الفقدان في عمود الضغط h (سنتمتر)			
قطر العينة D (سنتمتر)			
طول مسار الجريان L (سنتمتر)			
مساحة مقطع العينةA (سنتمتر^2)			
معامل النفاذية k (سنتمتر/ثانية)			

نفاذية التربة بطريقة الضغط المتغير Soil Permeability by Falling Head Method

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

البيانات الخاصة بعينة التربة

الوصف	القيمة
حجم العينة V (سنتميتر^3)	
الوزن النوعي G	
وزن مجموعة الخلية W_1 (جرام)	
وزن (العينة + مجموعة الخلية) W_2 (جرام)	
الوزن الجاف للعينة W_s (جرام)	
الكثافة الجافة للعينة γ_d (جرام/سنتميتر^3)	
نسبة الفجوات e	

القراءات نتائج الحسابات

رقم المحاولة	1	2	3
قطر العينة D (سنتميتر)			
طول مسار الجريانL (سنتميتر)			
مساحة مقطع العينة A (سنتميتر^2)			
ارتفاع عمود ضغط الماء h_0 (سنتميتر)			
ارتفاع عمود ضغط الماء h_1 (سنتميتر)			
مساحة مقطع الأنبوبة a (سنتميتر^2)			
الفترة الزمنية t (ثانية)			
معامل النفاذية k (سنتميتر/ثانية)			
متوسط معامل النفاذية$k_{av.}$ (سنتميتر/ثانية)			
القيمة المصححة لمعامل النفاذية k_{20^o} (سنتميتر/ثانية)			

انضمام التربة: الجزء ألأول Soil Consolidation: Part I

وصف التربة: ..... سمك العينة H_0 : .....

الصرف: ..... الضغط المسلط: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

الفترة الزمنية (دقيقة)	0	1	2	4	8	15	30	60	120	240	480	1440
قراءة العداد (ملم)	0	0.035	0.041	0.049	0.058	0.066	0.075	0.086	0.095	0.107	0.115	0.124

انضمام التربة: الجزء ألثاني Soil Consolidation: Part II

وصف التربة: ..... الوزن النوعي G : .....

المحتوى المائي عند نهاية التجربة ω_1 : ..... سمك العينةH_0 : .....

الفترة الزمنية لقراءة العداد: ..... الصرف: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

الضغط المسلط (كيلو نيوتن/متر^2)	قراءة العداد (ملميتر)	ΔH (ملميتر)	Δe	e

صندوق القص المباشر Direct Shear Box

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الإجهاد العمودي: ..... الكثافة الجافة لعينة التربة: .....

مساحة المقطع الأفقي للعينة: ..... سمك العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

قراءة عداد القوة الأفقية (تدريجه)	معامل المعايرة لعداد قوة القص (باوند/تدريجه)	القوة الأفقية (باوند)	إجهاد القص (باوند/انج^2)	الإزاحة العمودية (انج)	الإزاحة الأفقية (انج)	الإجهاد العمودي (باوند/انج^2)

الضغط غير المحصور Unconfined Compression

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

عامل التحويل الخاص بالحلقة Load Ring Factor : .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

البيانات الخاصة بعينة التربة

الوصف	القيمة
متوسط قطر المقطع العرضي (ملميتر)	
متوسط الطول الابتدائي (ملميتر)	
المساحة الابتدائية للمقطع العرضي (سنتميتر^2)	
الكثافة الرطبة (جرام\سنتميتر^3)	
الكثافة الجافة (جرام\سنتميتر^3)	
المحتوى المائي (%)	

القراءات ونتائج الحسابات

الإزاحة ΔL(ملميتر)	عداد القوة (تدريجة)	الحمل P (كيلوجرام)	الانفعال ε $\times 10^{-2}$	المساحة $\bar{A}$ (سنتميتر^2)	الإجهاد العمودي كيلوجرام/سنتميتر^2 كيلو نيوتن/متر^2

الضغط ثلاثي المحاور Tri-axial Compression

نوع التجربة: ..... وصف التربة: .....

ضغط الخلية: ..... معامل المعايرة لحلقة الحمل: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

البيانات الخاصة بعينة التربة

الوصف	القيمة
متوسط قطر المقطع العرضي (ملميتر)	
متوسط الطول (ملميتر)	
المساحة الابتدائية للمقطع العرضي (سنتميتر^2)	
الوزن النوعي للحبيبات الصلبة Gs	
الكثافة الرطبة (كيلو نيوتن\متر^3)	
الكثافة الجافة (كيلو نيوتن\متر^3)	
محتوى الماء (%)	
درجة الإشباع (%)	

القراءات ونتائج الحسابات

تشوه العينة ΔL (ملميتر)	الانفعال المحوري ε	قراءة حلقة الحمل (تدريجه)	الحمل العمودي P (نيوتن)	المساحة المصححة `A (سنتميتر^2)	جهد الانحراف σ_d (كيلونيوتن\متر^2)

مروحة القص Vane Shear

وصف التربة: ..... رقم العينة: .....

الموقع: .....

مختبرة بواسطة: ..... التاريخ: .....

رقم النقطة	1	2
قطر المروحة d (ملميتر)		
ارتفاع المروحة h (ملميتر)		
ثابت النابض k (نيوتن . ملميتر / درجة)		
زاوية دوران المروحة عند الانهيار Θ_f(درجة)		
عزم الدوران الناتج T (نيوتن . ملميتر)		
مقاومة القص C (كيلو نيوتن\متر^2)		

اختراق المخروط Cone Penetrometer

وصف التربة.....رقم العينة.....

الموقع.....

مختبرة بواسطة .....التاريخ .....

رقم المحاولة	1	2	3	4
اختراق المخروط (ملميتر)				
متوسط الاختراق (ملميتر)				
رقم علبة الرطوبة				
وزن العلبة فارغة (جرام)				
وزن العلبة والتربة الرطبة (جرام)				
وزن العلبة والتربة الجافة (جرام)				
وزن التربة الجافة (جرام)				
وزن ماء التربة (جرام)				
المحتوى المائي للتربة (%)				

References

1- AASHTO T86 – 70, “Field Collection of Soil Sample”.

2- ASTM D420 – 69, “Field Collection of Soil Sample”.

3- AASHTO T87-70, “Sample Preparation”.

4- AASHTO T88-70, “Determination of Grain Size Analysis of Soil”.

5- ASTM D 421-58, “Dry Preparation of soil Samples for Particle-Size Analysis Determination of Soil Constants”.

6- ASTM D422-63, “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils”.

7- AASHTO T 265, “Determination of Moisture Content”.

8- ASTM D2216-71, “Standard Test Methods for Water Content”.

9- ASHTO T 100 – 70, “Determination of Specific Gravity of Soil”.

10- ASTEM D 854 – 58, “Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer”.

11- ASTM D2937, “Determination of Bulk Density of soil”.

12- AASHTO T-89, “Determination of Liquid Limit of Soils”.

13- AASHTO T-90, “Determination of Plastic Limit of Soil”.

14- ASTM D4318, “Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils” American Society for Testing of Materials, Pennsylvania, Pa, USA.

15- ASTM D698 - 70, “Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)) ”.

16- ASTM D1557 - 70, “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))”.

17- AASHTO T99 -70, “Determination of Laboratory Compaction of soil”.

18- AASHTO T180 - 70, “Determination of Laboratory Compaction of soil”.

19- AASHTO T181-62, “Method with large sizes of Coarse Aggregate”.

20- AASHTO T191-61, “Density of Soil in - Place by the sand- cone method”.

21- AASHTO T205-64, “Balloon Density”.

22- ASTM D 1556-64, “sand cone”.

23- ASTM D2167-66, “Rubber Balloon method”.

24- ASTM D2937, “Field Density: Core Cutter”.

25- ASTM D 4253, “Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibrating Table”.

26- ASTM D 4254, “Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density”.

27- ASTM D2434-68, “A Constant Head Test to Determine the Hydraulic Conductivity of Soil”.

28- AASHTO T215-66, “Determination of Permeability of Soil”.

29- ASTM D2435-70, “Standard Test Method for One Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading”.

30- AASHTO T216- 66, “Determination of Consolidation Test”.

31- AASHTO T 236, “Standard Method of Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions” American Association of State Highway and Transportation Officials.

32- ASTM D3080, “Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions” American Society for Testing of Materials, Pennsylvania, Pa, USA.

33- ASTM 2166-66, “Standard Test Methods for Unconfined Compressive Strength of cohesive soils” American Society for Testing of Materials, Pennsylvania, Pa, USA.

34- AASHTO T208-70, “Determination of Unconfined Compressive

Strength of Soil".

35- AASHTO T-296, "Determination of Triaxle Testing" (UU).

36- AASHTO T-297, "Determination of Triaxle Testing" (CU).

37- AASHTO T234, "Strength parameters of soils by triaxle".

38- AASHTO Manual for Bridge Maintenance 1976.

39- ASTM D2850, "Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxle Compression Test on Cohesive Soils".

40- Bowles, J. E., 1996. Foundation analysis and design, 5th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.

41- Bowles J. E., 1986. Engineering properties of soil and their measurement, third edition, McGraw Hill Book Company, Singapore.

42- BS 1377, 1975. Method of Test for Soil for Civil Engineering Purposes, British Standard Institution, London, U.K.

43- B.S. 1377, 1990. Method of Test for Soil for Civil Engineering Purposes, British Standard Institution, London, U.K.

44- DAS B. M., 2002. Soil Mechanics Laboratory Manual. 6th ed. Oxford University press, New York.

45- Head, K. H., 1982. Manual of soil laboratory testing, Volume 2, Pentech Press, London, UK.