جامعة المنصورة
كلية الزراعة
قسم الهندسة الزراعية

ميكانيكا التربـة والميـاه

Soil Mechanics and Water

الجزء الثاني

دكتور/الشحات بركات البنا

أستاذ ورئيس قسم الهندسة الزراعية

الفرقة الثالثة

هندسة زراعية

أساسيـات التربـة والميـاه
Principles of Soil and Water

"ومن آياته أنك ترى الأرض خاشعة فإذا أنزلنا
عليها الماء اهتزت وربت إن الذي أحياها
لمحي الموتى إنه على كل شئ قدير.
" صدق الله العظيم.

الاختبارات المعملية

- **١- تصنيف التربة ووصفها :**

يجب قبل إجراء التجارب على التربة أن تفحص عينات التربة جيدا، وأن يسجل وصفها ونوعها، إذ أن مثل هذه الخطوة تساعد كثيرا في تفسير نتائج التجارب كما تساعد في كشف ما يكون قد حدث من الأخطاء عند أخذ العينات.

- ١-١ تصنيف التربة إلى الأنواع التالية:

- (أ) رخام : كتل مستديرة أو شبه مستديرة من الحجارة ذات قطر يتراوح بين ٢٠٠ مم إلى ٦٠ مم.

- (ب) زلط : تربة تحتوي على حبيبات تتراوح أقطارها من ٦٠ مم إلى ٢ مم. ويمكن تقسيم الزلط إلى :

(١) زلط خشن : يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٦٠ مم – ٢٠ مم.

(٢) زلط متوسط :يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٢٠ مم – ٦ مم.

(٣) زلط ناعم : يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٦ مم – ٢ مم.

- (جـ) الرمل : تربة تحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٢ مم - ٠,٦ مم. ويقسيم الرمل بدقة إلى :

(١) رمل خشن : يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٢ مم - ٠,٦ مم.

(٢) رمل متوسط:يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٠,٦ مم - ٠,٢ مم.

(٣) رمل ناعم:يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٠,٢ مم -٠,٠٦ مم.

- (د) الطمي : تربة تحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٠,٠٦ مم إلى ٠,٠٠٢ مم. ويقسيم الطمى بدقة إلى :

(١) طمي خشن : يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٠,٠٦ مم - ٠,٠٢ مم.

(٢) طمي متوسط:يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٠,٠٢ مم - ٠,٠٠٦ مم.

(٣) طمي ناعم:يحتوي على حبيبات ذات أقطار تتراوح من ٠,٠٠٦ مم - ٠,٠٠٢ مم.

- (هـ) الطين : تربة تحتوي على حبيبات ذات أقطار أقل من ٠,٠٠٢ مم. ويمكن التفرقة بين الطمي والطين عن طريق الانتفاخ القصي وذلك بإجراء تجربة الهز . ولإجراء هذه التجربة توضع قطعة من التربة المشبعة في كف اليد ثم تهز على راحة اليد فإذا لمع سطح التربة بعد الهز ثم انطفأ هذا اللمعان بعد ضغط التربة بين الأصابع تكون التربة طمية إلا فهي طينية ومما يؤكد أن التربة طينية نجد أنها تلتصق بأصابع اليد.

- (و) التربة المتماسكة : وهي التربة التي تكون كتلة متماسكة وذلك نتيجة لاحتوائها على مواد طينية .

- (ز) التربة الغير متماسكة :وهي التربة التي لا تكون كتلة متماسكة .

- توجد التربة عادة في الطبيعة إما متماسكة أو غير متماسكة ومختلطة مع بعضها ويمكن تقسيم التربة في تلك الحالة حسب كمية ونسب مكوناتها من الحبيبات. ويبين الجدول رقم (١) هذا التقسيم.

جدول رقم (١) وصف التربة حسب نسب مكوناتها

وصف التربة	نسبة المكونات للتربة
زلط به أثار رمل	نسبة الرمل أقل من ٥%
زلط مع بعض الرمل	نسبة الرمل تتراوح بين٥% إلى٢٠%
زلط رملي	نسبة الرمل أكبر من ٢٠% وأقل من ٥٠%
زلط و رمل	نسبة الرمل تعادل نسبة الزلط
رمل زلطي	نسبة الزلط أكبر من٢٠% وأقل من ٥٠%
رمل مع بعض الزلط	نسبة الزلط تتراوح بين ٥% إلى ٢٠%
رمل به آثار زلط	نسبة الزلط أقل من ٥%
رمل (أو زلط) به آثار طمي	نسبة الطمي أقل من ٥%
رمل (أو زلط) مع بعض الطمي	نسبة الطمي تتراوح بين ٥% إلى ١٥%
رمل (أو زلط) طميي	نسبة الطمي أكبر من١٥% وتصل إلى٣٥%
رمل (أو زلط) به آثار طين	نسبة الطين أقل من ٥%
رمل (أو زلط) مع بعض الطين	نسبة الطين تتراوح بين ٥% إلى ١٥%
رمل (أو زلط) طيني	نسبة الطين أكبر من ١٥% وتصل ٣٥%
طمي (أو طين) رملي	نسبة الرمل تتراوح بين ٣٥% إلى ٦٥%
طمي (أو طين) زلطي	نسبة الزلط تتراوح بين ٣٥% إلى ٦٥%

- ويجب عند وصف الرمل والزلط بعد إجراء التجارب على عينات منها أن تسجل درجة انتظام حبيبات التربة وشكل الحبيبات على أن يوصف شكل الحبيبات بالأوصاف التالية:

حبيبات ١- زاوية ، ٢- نصف زاوية،

٣- نصف مستديرة،

٤- مستديرة، ٥- كاملة الاستدارة.

- أما في حالة التربة الطينية أو الطمييية فيجب تسجيل درجة اللدونة وقوة إختراق التربة الجافة وانتفاخها القصي وقوامها وحساسيتها وتجانسها والشروخ إن وجدت ودرجة قلاقيلها.

- ١-٢- وصف التربة : يشمل وصف التربة ما يأتي :

- (أ) اللون : يجب أن يسجل لون التربة خصوصا وأن لونها يتوقف على نسبة محتوى رطوبتها كما أنه يساعد على معرفة ما إذا كانت التربة تحتوي على مواد عضوية من عدمه إذ أن وجود المواد العضوية فيها يجعل لونها داكن.

- (ب) الرائحة : إن لرائحة التربة أهمية في الاستدلال على وجود المواد العضوية إذ أن وجود مثل هذه المواد في التربة يجعل رائحتها نفاذة وعفنة. قد تفقد التربة رائحتها الأصلية أو تكتسب رائحة أخرى مختلفة نتيجة لتخزينها في المعمل ، ولذلك يستحسن أن تطلى أسطوانة أخذ العينات من الداخل بطبقة رقيقة من الزيت لمنع تغير رائحة التربة. إذا كانت رائحة التربة خفيفة جدا يمكن إظهارها بتسخين قطعة منها تسخين خفيفا .

- (جـ) المكونات المعدنية للتربة : تتأثر خواص التربة الطينية بالمكونات المعدنية لها إذ أنها تتركب غالبا من إحدى المجموعات الآتية: مونتموريلونيت، كاولينيت، واليت، ومن الصعب معرفة المكونات المعدنية للتربة الطينية بسهولة بمجرد النظر، إلا أن التربة الطينية التي تمتص المياه بشراهة وتنتفخ نتيجة لذلك ينتمي غالبا المعدن المكون لها إلى مجموعة المونتموريلونيت. بالنسبة للتربة الخشنة مثل الرمل، إذا احتوت على قشور الميكا فيجب تحديد كمية الميكا بالأوصاف الآتية: قليلة – متوسطة – ميكائية جدا .

- (د) وجود المواد العضوية : يمكن اكتشاف وجود المواد العضوية في التربة من رائحتها المميزة ولونها الداكن.

- (هـ) وجود مواد شوائب أخرى : يمكن أن يستدل على أصل التربة من وجود بعض المواد الشائبة بها مثل الأصداف وخلاف ذلك.

- (و) نسيج التربة : تؤخذ قطعة من التربة السليمة ويلاحظ نسيجها ثم تعطى له الأوصاف التالية : حبيبي – لامع - غير لامع – أملس.

وكذلك يحك جزء صغير من التربة بين الأصابع ويوصف ملمسها بالأوصاف التالية : دقيق – أملس – شحمي – حاد. وإذا تفتت جزء كبير من التربة إلى أجزاء بسهولة فيوصف شكل سطح الأجزاء المتفتتة الصغيرة بما يلي : غير لامع – لامع ويسجل البعد بين الشقوق.

- (ز) كمية كربونات الكالسيوم الموجودة في التربة: يمكن ملاحظة الكربونات الموجودة في عينة التربة بإضافة حامض الإيدروكلوريك المخفف إلى جزء من التربة ثم تسجيل شدة التفاعل حسب كمية الغازات الخارجة كالآتي: قوي – ضعيف – لا يوجد تفاعل .

- ١-٣ تخزين عينات التربة :

- يجب توصيف عينات التربة وإجراء التجارب عليها عقب وصولها إلى المعمل بوقت قصير حيث أنه يصعب تخزينها بطريقة سليمة لفترات طويلة. وكذلك لأن نتائج التجارب قد تقرر ضرورة تغيير برنامج الاستكشاف. وقد لا تسمح الظروف في كثير من الأحيان بإجراء التجارب على العينات، وهنا لابد من تخزينها. وفيما يلي شرح للطريقة السليمة والمتبعة لحفظ العينات بعد استخراجها من الموقع :

أولا : تعين محتوى الرطوبة للتربة: θ

- **الغرض من الاختبار :**

- **الغرض من هذا الاختبار هو تعيين محتوى الرطوبة للتربة وهو يساوي النسبة المئوية لوزن الماء في حجم معين من التربة إلى وزن التربة الجافة في هذا الحجم.**

- ويمكن تعينها بعدة طرق منها ما يأتي :

- (أ) الطريقة القياسية وهي التي يستعمل فيها الفرن في التجفيف.

- (ب) طريقة استخدام الحمام الرملي وتستعمل كبديل سريع للطريقة القياسية وهي أقل منها دقة ويمكن استعمالها في الموقع.

- (جـ) طريقة استخدام غاز كربيد الكالسيوم (الاستيلين) وتستعمل أيضا كبديل سريع للطريقة القياسية ويمكن استعمالها في الموقع.

- ١- الطريقة القياسية :

- الأجهزة :

- (أ) فرن تجفيف كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند ١٠٥ º - ١١٠ ºم

- (ب) مجموعة من الموازين الحساسة كما يلي :

(١) ميزان حساس تبلغ دقته ٠,٠١ جم لعينات التربة الناعمة الحبيبات.

(٢) ميزان حساس تبلغ دقته ٠,١ جم لعينات التربة المتوسطة الحبيبات.

(٣) ميزان حساس تبلغ دقته ١ جم لعينات التربة الخشنة الحبيبات.

- (جـ) مجموعة من العلب من الألمونيوم أو أي معدن مقاوم للصدأ والتآكل أو التحلل من تكرار عملية التسخين والتبريد لها غطاء محكم لمنع تسرب الرطوبة من عينة التربة أو امتصاصها من الجو. وتكون أحجام هذه العلب كما يلي :

(١) علب قطرها حوالي ٥٠ مم ارتفاعها حوالي ٢٥ مم تستخدم لعينات التربة الناعمة الحبيبات.

(٢) علب تسع حوالي ٥٠٠ جم التربة المتوسطة الحبيبات.

(٣) علب تسع حوالي ٣ كيلو جرام التربة خشنة الحبيبات.

- (د) مجفف قطره حوالي ٢٠٠ مم إلى ٢٥٠ مم يحتوي على جيلاتين السيليكا.

- (هـ) جاروف بعرض حوالي ١٠٠ مم وطول حوالي ٢٠٠.

- الطريقة :

- (أ) توزن علبة العينات المناسبة لنوع التربة على الميزان المناسب وهي فارغة وجافة ونظيفة وعليها غطاؤها (m_1) .

- (ب) يؤخذ حوالي ٣٠ جم من التربة الناعمة الحبيبات أو حوالي ٣٠٠ جم من التربة المتوسطة الحبيبات، أو حوالي ٣كجم من التربة الخشنة الحبيبات، وتوضع وهي مفككة في العلبة المناسبة لنوع التربة وتغطي لمنع تسرب الرطوبة منها، ثم توزن العلبة بمحتويتها لأقرب ٠,١ جم (m_2).

- (جـ) يزال غطاء العلبة وتوضع في فرن درجة حرارته ١٠٥ º- ١١٠ ºم لمدة ٢٤ ساعة. ويلاحظ أن معظم أنواع التربة يتم تجفيفها في مدة تتراوح بين ١٦- ٢٤ ساعة، إلا إذا كانت تحتوي على نسبة عالية جدا من الماء، وإذا كان حجم العينة كبير ففي هذه الحالة قد تحتاج في تجفيفها مدة أطول، إذا كانت التربة تحتوي على مادة الجبس والجير فيفضل تجفيفها في درجة حرارة لا تزيد عن ٨٠ ºم ولفترة أطول من ٢٤ ساعة ويجب تسجيل ذلك مع نتائج الاختبار.

- عموما تعتبر العينة جافة إذا كان الفرق بين وزنها في مرتين متتاليتين بينهما ٤ ساعات داخل الفرن لا يزيد عن ٠,١% من وزنها الأصلي .

- (د) تنتقل العلبة بمحتوياتها من الفرن وتغطى بالغطاء، ثم توضع في الأوتوكلاف لتبرد وذلك في حالة التربة ناعمة الحبيبات، أما في حالة التربة المتوسطة أو الخشنة الحبيبات فتترك لتبرد دون استعمال المجفف.

- (هـ) توزن العلبة مغطاة بمحتوياتها (m_3).

- **الحسابات :**

- **يتم حساب النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة للعينة منسوب إلى الوزن الجاف لها من المعادلة**

$$\theta = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} x100$$

- تسجل النتائج في جدول رقم (١)، وتحسب النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة لأقرب عددين إذا كانت قيمتها لا تزيد عن ١٠%، وإن زادت عن ١٠% تسجل النسبة لأقرب رقم صحيح. تذكر الطريقة المستخدمة في الحصول على هذه النسبة.

- جدول رقم (١-١) نتائج اختبار تعيين محتوى الرطوبة للتربة

المشروع : رقم الجسة :

الموقع : عمق الجسة :

تاريخ أخذ العينة : وصف التربة :

درجة حرارة التجفيف :

طريق إجراء الاختبار (القياسية - الحمام الرملي)

رقم العينة					
رقم العلبة					
وزن العلبة فارغ (m_1) جم					
وزن العلبة + وزن العينة رطبة (m_2) جم					
وزن العلبة + وزن العينة جافة (m_3) جم					
وزن الماء (m_2-m_3) جم					
وزن العينة جافة (m_3-m_1) جم					
محتوى الرطوبة (%): $\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\ (\%)$					

- ٣- طريقة استخدام الحمام الرملي :

- يستعمل هذا الاختبار كبديل سريع للطريقة القياسية لتعيين محتوى الرطوبة للتربة بالموقع. وهذه الطريقة أقل دقة من الطريقة القياسية ويجب عدم استعمالها إذا كانت التربة تحتوي على كميات كبيرة من الجبس أو المواد الجيرية أو المواد العضوية.

- الجهاز :

- (أ) علبة من الألمنيوم أو المعدن المقاوم للصدأ أو التآكل أو التحلل من تكرار عملية التسخين والتبريد لها غطاء محكم لمنع تسرب الرطوبة من عينة التربة أو امتصاصها للرطوبة من الجو.

- وتكون أحجام هذه العلبة كما يأتي :

(١- أ) علب قطرها حوالي ٥٠ مم ارتفاعها حوالي ٢٥ مم تستخدم لعينات التربة الناعمة الحبيبات.

(١- ب) علب قطرها حوالي ٢٠٠ مم وارتفاعها حوالي ٥٠ مم تستخدم لعينات التربة المتوسطة والخشنة الحبيبات.

(٢) ميزان حساس تبلغ دقته ٠,١ جم

(٣) حمام رملي يتكون من جفنة ذات قطر أكبر من قطر العلبة ويحتوي على رمل نظيف وبعمق لا يقل عن ٢٥ مم

- (د) موقد مناسب لتسخين الحمام الرملي.
- (هـ) سكينة خلط بطول ١٠٠ مم عرض ٢٠ مم.
- (و) مجفف يحتوي على جيلاتين السليكا قطره حوالي ٢٠٠ – ٢٥٠ مم

- الطريقة :

- (أ) تغسل العلبة وتنظف وتجفف وتوزن لأقرب ٠,١ جم (m_1).

- (ب) يؤخذ حوالي ٣٠ جم من التربة الناعمة الحبيبات أو ٣٠٠ جم من التربة المتوسطة والخشنة الحبيبات وتوضع العينة وهي مفككة في العلبة المناسبة لنوع التربة وتغطى بالغطاء لمنع تسرب الرطوبة منها وتوزن العلبة مغطاة بمحتوياتها لأقرب ٠,١ جم وليكن هذا الوزن (m_2).

- (جـ) يزال غطاء العلبة وتوضع على الحمام الرملي الذي يسخن بواسطة الموقد مع مراعاة عدم زيادة حرارة الحمام الرملي إلى درجة عالية. يمكن اكتشاف زيادة الحرارة بوضع قطع صغيرة من الورق الأبيض مختلطا بالتربة وتكتشف زيادة الحرارة إذا تحول الورق إلى لون بني.

- (د) بعد إتمام التسخين لمدة ساعة تقريبا ترفع العلبة من الحمام الرملي وتغطى بالغطاء وتوضع في المجفف لتبرد وذلك في حالة التربة الناعمة الحبيبات، أما في حالة التربة المتوسطة والخشنة الحبيبات فتترك لتبرد دون استعمال المجفف.

- (هـ) توزن العلبة مغطاة بمحتوياتها (m_3).

- **الحسابات :**

تحسب النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة للعينة منسوبة إلى الوزن الجاف لها من المعادلة الآتية:

$$\theta = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} x 100$$

- تسجيل النتائج :

- تسجل النتائج في جدول رقم (٢)، ثم تحسب النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة لأقرب عددين إذا كانت قيمتها لا تزيد عن ١٠% تسجل النسبة لأقرب رقم صحيح. تذكر الطريقة المستخدمة في الحصول على هذه النسبة.

ثانيا : تعيين حد السيولة للتربة :

- الغرض من الاختبار :

- الغرض من هذا الاختبار هو تعيين حد السيولة للتربة المتماسكة بغرض تصنيفها حسب تقسيم كساجراند مما يعطي فكرة تقريبية عن انضغاطها ونفايتها ومقاومتها للأحمال. ويعتبر حد السيولة هو أقل نسبة لمحتوى الرطوبة التي عندها تسيل التربة تحت تأثير وزنها.

- ونتيجة للتجربة فإن حد السيولة هو النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة التي عندها يسيل ويتلاصق جانبي شق عند قاع الوعاء المعدني بطول ١٣ مم تحت تأثير الصدمات الناتجة عن سقوطه ٢٥ مرة من ارتفاع مقداره ١٠ مم وبمعدل سقطتين في الثانية.

- ويعطي هذا الاختبار تعيين حد السيولة للتربة المجففة في الهواء كما يجوز استعمالها لتربة في حالتها الطبيعية. ويمكن إجراء هذا الاختبار بإحدى ثلاث طرق:

(١) طريقة كساجراند.

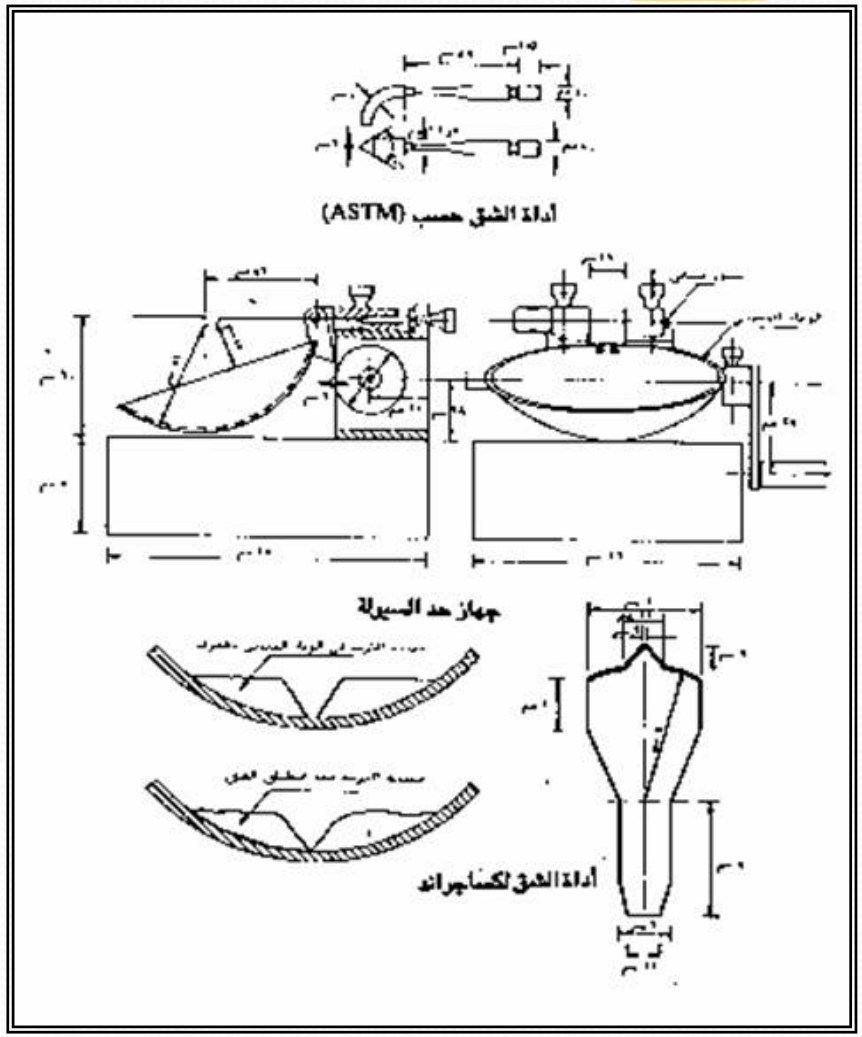
(٢) طريقة النقطة الواحدة بجهاز كساجراند

(٣) طريقة مخروط الاحتراق.

- (١) طريقة كساجراند :

- الجهاز :

- (أ) جهاز تعيين حد السيولة، كما هو موضح في الشكل (٢-١). ويتكون الجهاز من وعاء معدني دائري يتحرك حول محور أفقي إلى أعلى بارتفاع ١٠ مم ويسقط على قاعدة الجهاز، ويوضح الشكل أيضا أدوات الشق، ويمكن استعمال أدوات شق حسب كساجراند أو حسب (ASTM)



شكل (٢-١) جهاز كساجراند وأدوات الشق

- (ب) جفنة من البورسلين بقطر حوالي ١٥٠ مم.
- (جـ) سكينة خلط بطول حوالي ١٥٠ مم وعرض حوالي ٢٠ مم.
- (د) قارورة غسيل من البلاستيك بها ماء مقطر.
- (هـ) جهاز تعيين محتوى الرطوبة للتربة في المعمل كما سبق.
- (و) علبة محكمة غير منفذة للهواء ومن معدن غير قابل للصدأ تستوعب من ٢٠٠ إلى ٢٥٠ جم من التربة الرطبة.

- إعداد الجهاز :

- (أ) يجب فحص جهاز حد السيولة للتأكد من صلاحيته وأن جميع أجزائه في حالة جيدة ونظيفة وجافة بما فيها آلة الشق، كما يجب التأكد من سقوط الوعاء المعدني سقوطا حرا وألا يكون هناك حركة أفقية كبيرة عند المفصل.

- (ب) يجب ضبط الوعاء المعدني بحيث يرتفع قاعه بمقدار ١٠ مم عن القاعدة وذلك باستخدام مسامير الضبط بالجهاز، ويمكن التأكد من ذلك بتمرير يد آلة الشق التي سمكها ١٠ مم بين قاع الوعاء والقاعدة.

- (جـ) يجب الكشف على أداة الشق والتأكد من أن مقاساتها مطابقة لتلك البينة بالشكل رقم (١) فإذا كان عرض طرفها قد تآكل وأصبح ٣ مم فيجب عدم استعمالها إلا بعد استبدال هذا الطرف إلى ٢ مم .

- الطريقة :

- (أ) يؤخذ حوالي ١٠٠ جم من التربة الجافة والتي مرت من منخل قياسي فتحته ٠,٤٢٥ مم، والتي سبق تحضيرها، مع تسجيل نسبة المار من هذا المنخل. إذا مرت أغلب حبيبات التربة من المنخل مقاس فتحته ٠,٤٢٥ مم فمن الأنسب إزالة الحبيبات الكبيرة القليلة الموجودة بها عند الخلط دون الحاجة إلى إعدادها مسبقا بالطريقة المذكورة

وإذا اختبرت التربة وهي في حالتها الطبيعية فستختلف النتائج بعض الشيء عن التربة المجففة هوائيا. يجب اختبار التربة العضوية وهي في حالتها الطبيعية، ويجب في هذه الحالة أن يسجل في التقرير أن التربة المستعملة في الاختبار كانت في حالتها الطبيعية.

- (ب) توضع عينة التربة في الجفنة وتخلط جيدا بكمية كافية من الماء المقطر باستخدام السكين لجعل العينة في حالة قريبة من حالة اللدونة مع تكرار التقليب والخلط والعجن بواسطة السكين.

- (جـ) عند إتمام خلط العينة جيدا بالماء ووصولها إلى قوام غليظ متجانس تنقل التربة إلى العلبة المحكمة غير المنفذة للهواء وتغلق ثم تترك لمدة ٢٤ ساعة، وذلك لإتمام انتشار الرطوبة بانتظام فيها، إذا كانت عينة التربة تحتوي على نسبة ضئيلة من الطين فقد لا تحتاج عملية انتشار الرطوبة إلى كل هذه المدة الطويلة ويمكن إجراء الاختبار على التربة بعد الخلط مباشرة.

- (د) تعاد التربة إلى الجفنة ويعاد خلطها جيدا لمدة لا تقل عن ١٠ دقائق. على أية حال فإن بعض أنواع التربة قد تحتاج إلى حوالي ٤٠ دقيقة لإعادة خلطها بصفة مستمرة قبل إجراء الاختبار عليها.

- (هـ) يوضع جزء من العينة المعاد خلطها في الوعاء المعدني الذي يكون مرتكزا على قاعدة الجهاز، تفرد العينة ويسوى سطحها بحيث يكون موازيا لقاعدة الجهاز. تزال التربة الزائدة وتوضع في الجفنة

- (و) تشق التربة القطر المار بمنتصف المفصلة بحيث تكون أداة الشق عمودية على سطح الوعاء وطرفها المسلوب في مواجهة الحركة. ويراعى أن يكون الشق نظيفا وسليما وبالأبعاد المطلوبة. قد يصعب مع أنواع التربة ذات اللدونة المنخفضة عمل شق أملس في التربة بأداة الشق القياسية وفي هذه الحالة يمكن استخدام أداة الشق المنصوص عليها في (ASTM) لمثل هذه الأنواع من التربة. وإذا لم يمكن عمل أملس فإن التربة تكون غير لدنة، ويجب أن يسجل في هذه الحالة أنه لم يمكن عمل اختبار حد السيولة للتربة .

- (ز) تدار يد الجهاز بمعدل لفتين في الثانية وتستمر هذه العملية إلى أن ينساب جزئي التربة ويتم الالتصاق بينهما عند قاع الشق لمسافة ١٣ مم. يجب التأكد من طول مسافة الالتصاق باستعمال مسطرة مدرجة أو ذيل أداة الشق. يسجل عدد الضربات المسببة لالتصاق جانبي الشق لهذه المسافة. في بعض الأحيان ينساب جانبي الشق بحيث يحدث فراغا بين الالتصاق مستمرا بطول ١٣مم. في بعض أنواع التربة قد ينزلق جانبي الشق بدلا من انسيابهما. وفي هذه الحالة يجب إعادة الاختبار على عينة أخرى بعد إضافة المياه فإذا حدث انزلاق بعد ذلك يجب تسجيل أنه لم يمكن تعيين حد السيولة.

- (ح) يؤخذ حوالي ١٠ جم من منطقة التصاق جانبي الشق بواسطة السكينة وتوضع في علبة لتعيين محتوى الرطوبة طبقا للاختبار السابق.

- (ط) تعاد التربة المتبقية في الوعاء المعدني إلى الجفنة مرة أخرى ثم يغسل ويجفف كل من الوعاء المعدني وآلة الشق للقيام بالمحاولة التالية.

- (ي) يضاف إلى العينة في الجفنة حوالي ١ إلى ٣ سم^{3} من الماء المقطر حسب نوع التربة، وتكرر الخطوات من (هـ) إلى (ط) للحصول على أربع نقط على الأقل لرسم منحنى الانسياب.ويراعى أن تكون نقطتان ذات عدد ضربات أكبر من ٢٥، ونقطتان ذات ضربات أقل من ٢٥. عموما يعتبر الاختبار مقبولا إذا تراوح عدد الضربات ما بين ١٠ إلى ٤٠ ضربة. ويبدأ الاختبار دائما من الحالة الجافة مع تكرار زيادة نسبة الماء تتحول إلى الحالة اللينة.

- (ك) يجب أثناء إجراء الاختبار تغطية العجينة في الجفنة بفوطة مبللة لمنع جفافها.

- **الحسابات :**

- **ترصد النتائج في جدول رقم (٣)، ثم ترسم العلاقة بين محتوى الرطوبة وعدد الضربات على رسم بياني، شكل رقم (١)، بحيث يمثل المحور الرأسي محتوى الرطوبة بالوحدات العادية ويمثل المحور الأفقي عدد الضربات بالوحدات اللوغاريتمية. يرسم خط مستقيم يمر أقرب ما يمكن من النقط، ويعرف هذا الخط بمنحنى الانسياب، وتعتبر النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة المقابلة لنقطة تقاطع منحنى الانسياب مع الخط الرأسي المار بعدد ضربات تساوي ٢٥ هي حد السيولة للتربة.**

- تسجيل النتائج :

- تسجل قيمة حد السيولة (%) لأقرب رقم صحيح، وبفضل تسجيل الطريقة المستعملة في تعيين حد السيولة بالإضافة إلى تسجيل نسبة المار من المنخل مقاس فتحته ٠,٤٢٥ مم وذكر حالة عينة التربة سواء كانت في حالتها الطبيعية أو تم تجفيفها أو غير ذلك .

- ٢- طريقة النقطة الواحدة بجهاز كساجراند :

- تعتبر نتائج هذه الطريقة أقل دقة من طريقة جهاز كساجراند أو نتائج طريقة مخروط الاختراق ولكنها مقبولة إذا تطلب الأمر السرعة وقبول نتائج أقل دقة.

- جدول رقم (٢-١) نتائج اختبار حد السيولة بطريقة جهاز كساجراند

المشروع : رقم الجسة :

الموقع : عمق الجسة :

رقم العينة : وصف التربة :

نسبة المار من منخل رقم ٤٠ : طريقة التجفيف :

رقم الاختبار	١	٢	٣	٤	٥
عدد الضربات					
رقم العلبة					
وزن العلبة فارغ (m_1) جم					
وزن العلبة + وزن العينة رطبة (m_2) جم					
وزن العلبة + وزن العينة جافة (m_3) جم					
وزن الماء (m_2-m_3) جم					
وزن العينة جافة (m_3-m_1) جم					
محتوى الرطوبة (%) :					
حد السيولة %					

- **الجهاز :**

- **نفس جهاز كساجراند المستعمل في الطريقة السابقة. يجب فحص الجهاز وإعداده بنفس الطريقة التي سبق شرحها .**

- الطريقة :

- (أ) تؤخذ عينة مقدارها حوالي ٥٠ جم من نفس عينة التربة التي تم إعدادها لاختبار حد السيولة والتي مرت من المنخل القياسي مقاس فتحته ٠,٤٢٥ مم والتي سبق تحضيرها كما بالطريقة الأولى (١)، مع تسجيل نسبة المار من هذا المنخل.

إذا مرت أغلب حبيبات التربة من المنخل مقاس فتحته ٠,٤٢٥ مم فمن الأنسب إزالة الحبيبات الكبيرة القليلة الموجودة بها عند الخلط دون الحاجة إلى إعدادها مسبقا بالطريقة السابقة، إذا اختبرت التربة وهي في حالتها الطبيعية فستختلف النتائج بعض الشيء عن التربة المجففة هوائيا. يجب اختبار التربة العضوية وهي في حالتها الطبيعية، كما يجب في هذه الحالة أن يسجل في التقرير أن التربة المستعملة في الاختبار كانت في حالتها الطبيعية.

- (ب) توضع عينة التربة في الجفنة وتخلط جيدا بمقدار من الماء المقطر باستخدام السكين لتصبح عجينة يابسة متجانسة ذات قوام غليظ. يستمر في التقليب والخلط لمدة ١٠ دقائق على الأقل ، يجب أن يكون مقدار الماء كافيا بحيث يعطي عدد ضربات أقل من ٢٥ وذلك لتجنب جفاف العينة عند اختبارها نتيجة تبخر بعض الرطوبة من العينة أثناء فترة التخزين.

- (جـ) تنقل التربة إلى العلبة المحكمة غير المنفذة للهواء وتغلق ثم تترك لمدة ٢٤ ساعة، وذلك لإتمام انتشار الرطوبة بانتظام فيها، إذا كانت عينة التربة تحتوي على نسبة ضئيلة من الطين فقد لا تحتاج عملية انتشار الرطوبة إلى كل هذه المدة الطويلة ويمكن إجراء الاختبار على التربة بعد الخلط مباشرة.

- (د) تعاد التربة إلى الجفنة ويعاد خلطها جيدا لمدة دقيقة على الأقل.

- (هـ) يوضع جزء من العينة المعاد خلطها في الوعاء المعدني الذي يكون مرتكزا على قاعدة الجهاز، تفرد العينة ويسوى سطحها بحيث يكون موازيا لقاعدة الجهاز. تزال التربة الزائدة وتوضع في الجفنة .

- (و) تشق التربة في اتجاه الخلط المار بمنتصف المفصلة بحيث تكون أداة الشق عمودية على سطح الوعاء وطرفها المسلوب في مواجهة الحركة. ويراعى أن يكون الشق نظيفا وسليما وبالأبعاد المطلوبة. قد يصعب مع أنواع التربة ذات اللدونة المنخفضة عمل شق أملس في التربة بأداة الشق القياسية وفي هذه الحالة يمكن استخدام أداة الشق المنصوص عليها في (ASTM) لمثل هذه الأنواع من التربة. وإذا لم يمكن عمل أملس فإن التربة تكون غير لدنة، ويجب أن يسجل في هذه الحالة أنه لم يمكن عمل اختبار حد السيولة للتربة .

- (ز) تدار يد الجهاز بمعدل لفتين في الثانية وتستمر هذه العملية إلى أن ينساب جزئي التربة ويتم الالتصاق بينهما عند قاع الشق لمسافة ١٣ مم. يجب التأكد من طول مسافة الالتصاق باستعمال مسطرة مدرجة أو ذيل أداة الشق. يسجل عدد الضربات المسببة لالتصاق جانبي الشق لهذه المسافة. في بعض الأحيان ينساب جانبي الشق بحيث يحدث فراغا بين الالتصاق مستمرا بطول ١٣ مم. في بعض أنواع التربة قد ينزلق جانبي الشق بدلا من انسيابهما.

وفي هذه الحالة يجب إعادة الاختبار على عينة أخرى بعد إضافة المياه فإذا حدث انزلاق بعد ذلك يجب تسجيل أنه لم يمكن تعيين حد السيولة.

- (ح) يضاف قليلا من التربة الرطبة إلى وعاء الجهاز وتخلط مع التربة الموجودة.

- (ط) تكرر الخطوات من (هـ) إلى (جـ) حتى تتطابق عدد الضربات في تجربتين متتاليتين مع مراعاة أن التربة لم تجف أثناء تكرار هذه الخطوات.

- (ي) تؤخذ العينة من الوعاء المعدني وتوضع في علبة لتعين نسبة محتوى الرطوبة لهما كما هو موضح في الاختبار رقم (٣) بند (١-٤).

- (ك) يجب أثناء إجراء الاختبار تغطية العجينة في الجفنة بفوطة مبللة لمنع جفافها.

- **الحسابات :**

- **حد السيولة يساوي حاصل ضرب نسبة محتوى الرطوبة في معامل يتناسب مع عدد الضربات التي تم الحصول عليها بالاختبار، جدول رقم (٢-٢).**

جدول رقم (٢-٢) المعاملات التي تستعمل لتعيين حد السيولة بطريقة النقطة الواحدة بجهاز كساجراند

عدد الضربات	المعامل	عدد الضربات	المعامل	عدد الضربات	المعامل	عدد الضربات	المعامل
١٥	٠,٩٥	٢١	٠,٩٨	٢٦	١,٠٠	٣١	١,٠٢
١٦	٠,٩٦	٢٢	٠,٩٩	٢٧	١,٠١	٣٢	١,٠٢
١٧	٠,٩٦	٢٣	٠,٩٩	٢٨	١,٠١	٣٣	١,٠٢
١٨	٠,٩٧	٢٤	٠,٩٩	٢٩	١,٠١	٣٤	١,٠٣
١٩	٠,٩٧	٢٥	١,٠٠	٣٠	١,٠٢	٣٥	١,٠٣٢
٢٠	٠,٩٨						

- تسجيل النتائج :

- تسجل قيمة حد السيولة (%) لأقرب رقم صحيح، وبفضل تسجيل الطريقة المستعملة في تعيين حد السيولة بالإضافة إلى تسجيل نسبة المار من المنخل مقاس فتحته ٠,٤٢٥ مم وذكر حالة عينة التربة سواء كانت في حالتها الطبيعية أو تم تجفيفها أو غير ذلك .

- ٣- طريقة مخروط الاختراق :

- الغرض من الاختبار :

- الغرض من هذا الاختبار هو تعيين حد السيولة للتربة المتماسكة باستعمال جهاز مخروط الاختراق. ومن المعلوم أن تعيين حد السيولة باستخدام جهاز كساجراند تعتبر طريقة مقبولة ولكن نظرا لصعوبة المحافظة على سلامة ودقة الجهاز، بالإضافة إلى اعتماد النتائج إلى حد كبير على خبرة القائم على التجربة

فتعتبر طريقة مخروط الاختراق أفضل لسهولة إجراء التجربة وسهولة صيانة الجهاز. قد تختلف نتائج الجهاز عن نتائج مخروط الاختراق اختلافا بسيطا ولكن هذا الاختلاف في معظم الحالات ليس له تأثير كبير.

- الجهاز :

- (أ) لوح من الزجاج مربع الشكل طول ضلعه ٥٠٠ مم وبسمك حوالي ١٠ مم.

- (ب) سكينة خلط بطول ٢٠٠ مم وعرض ١٠ مم.

- (جـ) جهاز الاختراق مثل الذي يستعمل في اختبار المواد البيتومينية وطبقا للمواصفات البريطانية (B54691) .

- (د) مخروط من الحديد المجلفن طوله حوالي ٣٥ مم ذو سطح أملس ولامع وبزاوية ميل مقدارها ٣٠ ± ١٠ °، للتأكد من أن نهاية المخروط لازالت حادة بعد كثرة الاستخدام توضع النهاية المدببة في فتحة قطرها ١,٥ مم في لوح معدني سمكه ١,٧٥ ± ٠,١ مم، ويمرر نهاية الأصبع بضغط خفيف على الفتحة فإذا تم الإحساس بوجود النهاية المدببة للمخروط ثبتت صلاحيته للعمل، يثبت المخروط في جهاز الاختراق ويكون وزن العمود المنزلق مع المخروط ٨٠ ± ٠,٠٥ جم.

- (هـ) إناء معدني بقطر حوالي ٥٥ مم وبارتفاع ٤٠ مم وبحافة موازية لقاعدة الجهاز المسطحة.

- (و) جفنة من البورسلين بقطر حوالي ١٥٠ مم و خرقة رطبة.

- (ز) جهاز تعيين محتوى الرطوبة في المعمل، كما هو موضح في الاختبار أولا وثانيا

- (ح) قارورة غسيل من البلاستيك تحتوي على ماء مقطر.
- (ط) علبة محكمة غير منفذة للهواء ومن معدن غير قابل للصدأ.
- (ي) قدة صلب للتسوية.

- الطريقة :

- (أ) تؤخذ عينة مقدارها لا يقل عن ٢٠٠ جم من تربة مرت من المنخل القياسي مقاس ٠,٤٢٥ مم والتي سبق تحضيرها. تسجل نسبة المار من هذا المنخل القياسي ثم توضع العينة على لوح الزجاج وتخلط بالماء المقطر باستعمال السكينة حتى تصبح العينة عجينة متجانسة ذات قوام غليظ.

توضع العينة في العلبة وتترك لمدة ٢٤ ساعة وذلك للسماح بانتشار الرطوبة بانتظام فيها. إذا كانت غالبية التربة المراد اختبارها تمر من المنخل القياسي المذكور فمن الأيسر إزالة الحبيبات الخشنة أثناء الخلط ودون الحاجة إلى إعدادها . عند استعمال التربة في حالتها الطبيعية قد تختلف النتائج عن التربة المجففة في الهواء.

يجب اختبار التربة العضوية في حالتها الطبيعية ودون تجفيف وفي هذه الحالة يجب ذكر ذلك عند تسجيل النتائج.إذا كانت التربة تحتوي على نسبة قليلة من الطين فليس من الضروري تركها لمدة ٢٤ ساعة ويمكن إجراء الاختبار بعد خلط التربة بالماء مباشرة.

- (ب) تؤخذ العينة من العلبة المحكمة ويعاد خلطها جيدا لمدة لا تقل عن ١٠ دقائق على أنه في بعض الأحيان قد تتطلب بعض أنواع التربة إلى زيادة مدة الخلط إلى حوالي ٤٠ دقيقة وقد يتطلب الأمر إضافة المزيد من الماء حتى تكون القراءة الأولى لمقدار اختراق المخروط حوالي ١٥ مم.

- (جـ) توضع العينة المعاد خلطها في الإناء المعدني ويملأ بواسطة السكينة مع مراعاة عدم حبس أو ترك فقاقيع هواء بالعينة. يسوى سطح العينة مع حافة الإناء المعدني بواسطة أداة التسوية بحيث يكون السطح مستويا. يدفع المخروط إلى أسفل بحيث يتلامس مع التربة و إذا كان المخروط في الوضع الصحيح فإن أي حركة صغيرة للإناء ستترك أثر على سطح العينة،

ويقرأ عداد الجهاز ويسجل إلى ٠,١ مم ويترك المخروط ليخترق التربة لمدة ٥ ± ١ ثانية. إذا كان الجهاز غير معد بمحكم آلي يتحكم في حركة المخروط فيجب أخذ الاحتياط لعدم حدوث حركات فجائية له. بعد ثبات المخروط في مكانه يتم قراءة عداد الحركة بالجهاز لأقرب ٠,١ مم ويسجل فيكون الفرق بين القراءتين من البداية إلى النهاية هو مقدار اختراق المخروط في العينة.

- (د) يرفع المخروط وينظف جيدا ثم يضاف قليلا من التربة الرطبة إلى الإناء المعدني ويكرر العمل إذا كان الفرق بين مقدار الاختراق الثاني والاختراق الأول يزيد عن ٠,٥ مم وأقل من ١,٠٠ مم يجرى اختبار ثالث. إذا كان الفرق بين قيم الاختراق لا يزيد عن ١ مم تؤخذ عينة وزنها حوالي ١٠ جم من مكان الاختراق لتعيين محتوى الرطوبة لها كما في اختبارات (فى أولا وثانيا).

ويسجل متوسط مقدار الاختراق في المحاولات الثلاث. إذا كان الفرق يزيد عن ١ مم تزاح العينة من الإناء المعدني ويعاد خلطها ويكرر العمل.

- (هـ) تكرر الخطوات (جـ) و (د) على الأقل ٤ مرات باستعمال نفس العينة مع إضافة مزيدا من الماء المقطر. تختار كمية الماء المضافة بحيث يتراوح مقدار الاختراق بين ١٥، ٢٥ مم.

- **الحسابات :**

- **ترسم العلاقة بين نسبة الرطوبة المحتوية ومقدار اختراق المخروط بحيث تكون النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة على الإحداثي السيني ومقدار الاختراق على الإحداثي الصادي، كما بالشكل التالى. سم خطا مستقيما يكون أقرب ما يكون من جميع النقط، النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة المقابلة لاختراق مقداره ٢٠ مم هي حد السيولة للتربة.**

- تسجيل النتائج :

- تسجل قيمة حد السيولة (%) إلى أقرب رقم صحيح. يجب تسجيل حالة العينة إن كانت طبيعية أو جافة.

- جدول رقم (٢-٣) نتائج اختبار حد السيولة بطريقة مخروط الاختراق

المشروع : رقم الجسة :

الموقع : عمق الجسة :

رقم العينة : وصف التربة :

نسبة المار من منخل رقم ٤٠ : طريقة التجفيف :

محتوى الرطوبة للتربة (%) :

رقم الاختبار	١	٢	٣	٤
القراءة الأولى لعداد الاختراق (مم)				
القراءة النهائية لعداد الاختراق (مم)				
مقدار الاختراق (مم)				
رقم العلبة				
وزن العلبة فارغة (m_1) جم				
وزن العلبة +وزن العينة رطبة (m_2) جم				
وزن العلبة + وزن العينة جافة (m_3) جم				
وزن العينة جافة (m_3-m_1) جم				
نسبة الرطوبة (%) $(m_2-m_3)/(m_3-m_1)x100$				

ثالثا : تعيين حد اللدونة للتربة :

- **الغرض من الاختبار:**

- **الغرض من هذا الاختبار هو تحديد حد اللدونة للتربة المتماسكة الجافة في الهواء. ويمكن تحديد حد اللدونة لعينة من التربة في حالتها الطبيعية.**

ويعرف حد اللدونة بأنه نسبة الرطوبة التي تتحول عندها التربة من حالة اللدونة إلى حالة النصف صلابة .

- الجهاز :
- (أ) جفنة من البورسلين بقطر حوالي ١٥٠ مم.
- (ب) سكينة خلط بطول ١٥٠ مم وعرض ٢٠ مم.
- (جـ) قارورة غسيل من البلاستيك بها ماء مقطر .

- (د) لوح زجاجي مربع الشكل طول ضلعه ٥٠٠ مم وسمكه ١٠ مم.

- (هـ) جهاز تعيين محتوى الرطوبة للتربة في المعمل كما هو موضح في الاختبارات (الطريقة الأولى والثانية).

- الطريقة :

- (أ) يؤخذ حوالي ١٥ جم من نفس عينة التربة التي تم إعدادها لاختبار حد السيولة التي مرت من منخل قياسي مقاس فتحته ٠,٤٢٥ مم والتي سبق شرحها.

- (ب) توضع عينة التربة في الجفنة ثم تخلط بمقدار معين من الماء إلى أن تصبح ذات لدونة كافية لإمكان تشكيل كرة منها.

- (جـ) تفتل كرة التربة بين أصابع اليد واللوح الزجاجي حتى تتحول إلى خيط بقطر منتظم. إذا وصل قطر الخليط إلى ٣ مم وبدأت التربة في التفتت تجع أجزاء الخليط المفتتة وتوضع في علبة تكون قد سبق وزنها فارغة. توزن العلبة مع أجزاء الخليط المفتتة لتعيين محتوى الرطوبة.

- (د) إذا لم يتفتت الخيط عندما يكون قطره ٣ مم يعاد تشكيل الخيط إلى كرة ثم يفتل مرة أخرى. تكرر العملية إلى أن يفتت الخيط عند قطر ٣ مم. وعموما يجب مراعاة أن يكون ضغط الأصابع منتظما على العينة أثناء عملية الفتل بحيث يصل الخيط إلى قطر ٣ مم بعد ٥ إلى ١٠ مرات كاملة من حركة اليد إلى الأمام والرجوع.

بعض أنواع الطين تحتاج من ١٠ إلى ١٥ مرة كاملة من حركة اليد عندما تكون التربة قريبة من حد اللدونة.

- (هـ) نكرر الخطوات المذكورة في (جـ) ،(د) ثلاث مرات على الأقل.

- النتائج :
- ترصد النتائج كما هو مبين في جدول (٣-١). يؤخذ حد اللدونة كمتوسط لقيم النسب المئوية للرطوبة المحتوية لثلاث تجارب.

- تسجيل النتائج :
- يسجل حد اللدونة (%) إلى أقرب رقم صحيح. تسجل نسبة المار من منخل مقاس ٠,٤٢٥ مم. تذكر حالة العينة سواء تم تجفيفها أو بحالتها الطبيعية أو غير ذلك.

- جدول رقم (٣-١) نتائج اختبار حد اللدونة للتربة

المشروع : رقم الجسة :

الموقع : عمق الجسة :

رقم العينة : وصف التربة :

نسبة المار من منخل رقم ٠,٤٢٥ : طريقة التجفيف :

محتوى الرطوبة للتربة (%) :

رقم الاختبار	١	٢	٣
رقم العلبة			
وزن العلبة فارغة (m_1) جم			
وزن العلبة +وزن العينة رطبة (m_2) جم			
وزن العلبة + وزن العينة جافة (m_3) جم			
وزن الماء (m_2-m_3) جم			
وزن العينة جافة (m_3-m_1) جم			
نسبة الرطوبة(%) $\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} x100$			
المتوسط			
حد اللادونة			

- ١- تعيين مجال اللدونة للتربة:

- الغرض من الاختبار :

- الغرض من هذا الاختبار هو تعيين مجال اللدونة للتربة المتماسكة بغرض تصنيفها حسب منحنى اللدونة لكساجراند مما يعطي فكرة تقريبية عن انضغاطها ونفاذيتها ومقاومتها للأحمال.

- **الطريقة:**

- **(أ) يتم تعيين كل من حد السيولة وحد اللدونة للتربة المتماسكة ويعتبر مجال اللدونة هو الفرق بين قيمة حد السيولة وقيمة حد اللدونة.**

- (ب) يستعمل بياني اللدونة لكساجراند) حيث يمثل المحور الرأسي مجال اللدونة ويمثل المحور الأفقي حد السيولة.
الخط (A) هو الفاصل بين التربة العضوية وغير العضوية حيث تقع التربة الغير عضوية فوق الخط. معادلة هذا الخط يمكن التعبير عنها كالآتي :

IP= 0.73 (WL-20)

- (جـ) قسمت التربة الناعمة الحبيبات حسب لدونتها كما هو موضح بالجدول رقم (٣-٢) وبياني اللدونة. ويرمز لكل نوع أساسي من التربة بحرفين على بياني اللدونة هذه الحروف توضح أنواع التربة الرئيسية وفكرة تقريبية عن خواصها.

- (د) إذا كان حد السيولة للتربة أقل من ٣٠% فإن تصنيفها يعتمد أساسا على الفحص الظاهري مع التدرج الحبيبي للتربة. وإذا كان حد اللدونة لا يمكن تحديده لتربة ما،أو عندما يكون حد اللدونة يساوي أو يزيد عن حد السيولة فتسجل التربة على أنها غير لدنة. وعموما فإن منحنى اللدونة يستعمل للتصنيف العام للتربة الناعمة الحبيبات سواء لتصميم الأساسات أو لأعمال تصميم الطرق والمطارات.

جدول رقم (٣-٢)

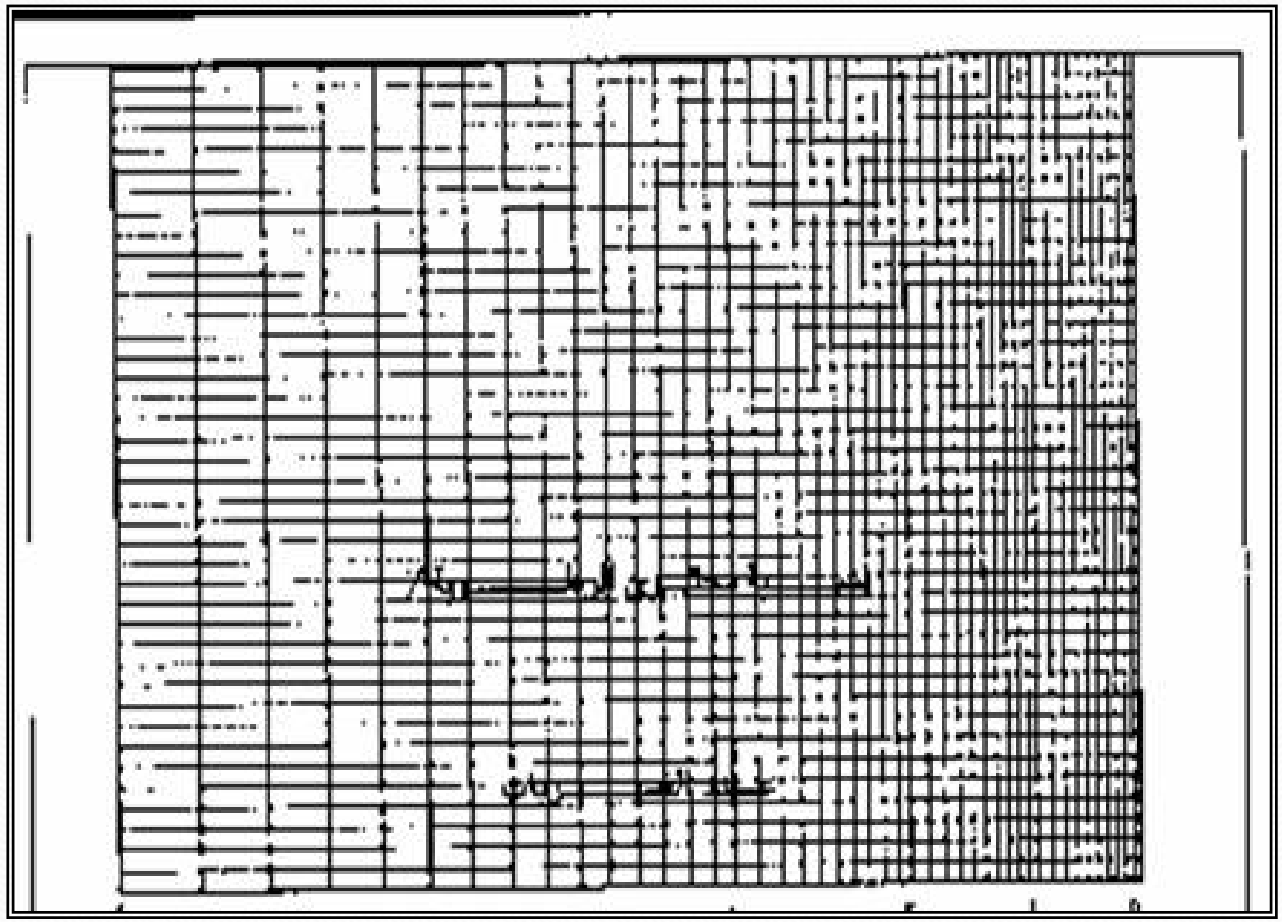
نوع التربة / خواص وصفية		الرمز
خشنة الحبيبات	الزلط	G
	الرمل	S
ناعمة الحبيبات	الطمي	M
	الطين	C
عضوي	طمي وطين عضوي	O
	سبخة	Pt
خشنة الحبيبات	ذات تدرج جيد	W
	ذات تدرج ردئ	P
	ذات تدرج منتظم	U
	تحتوي على زيادة من الحبيبات الناعمة	F
ناعمة الحبيبات	ذات لدونة منخفضة:حد السيولة أقل من ٣٥%	L
	ذات لدونة متوسطة:٣٥%< حد السيولة<٥٠%	I
	ذات لدونة عالية:حد السيولة >٥٠%	H

- **الحسابات :**

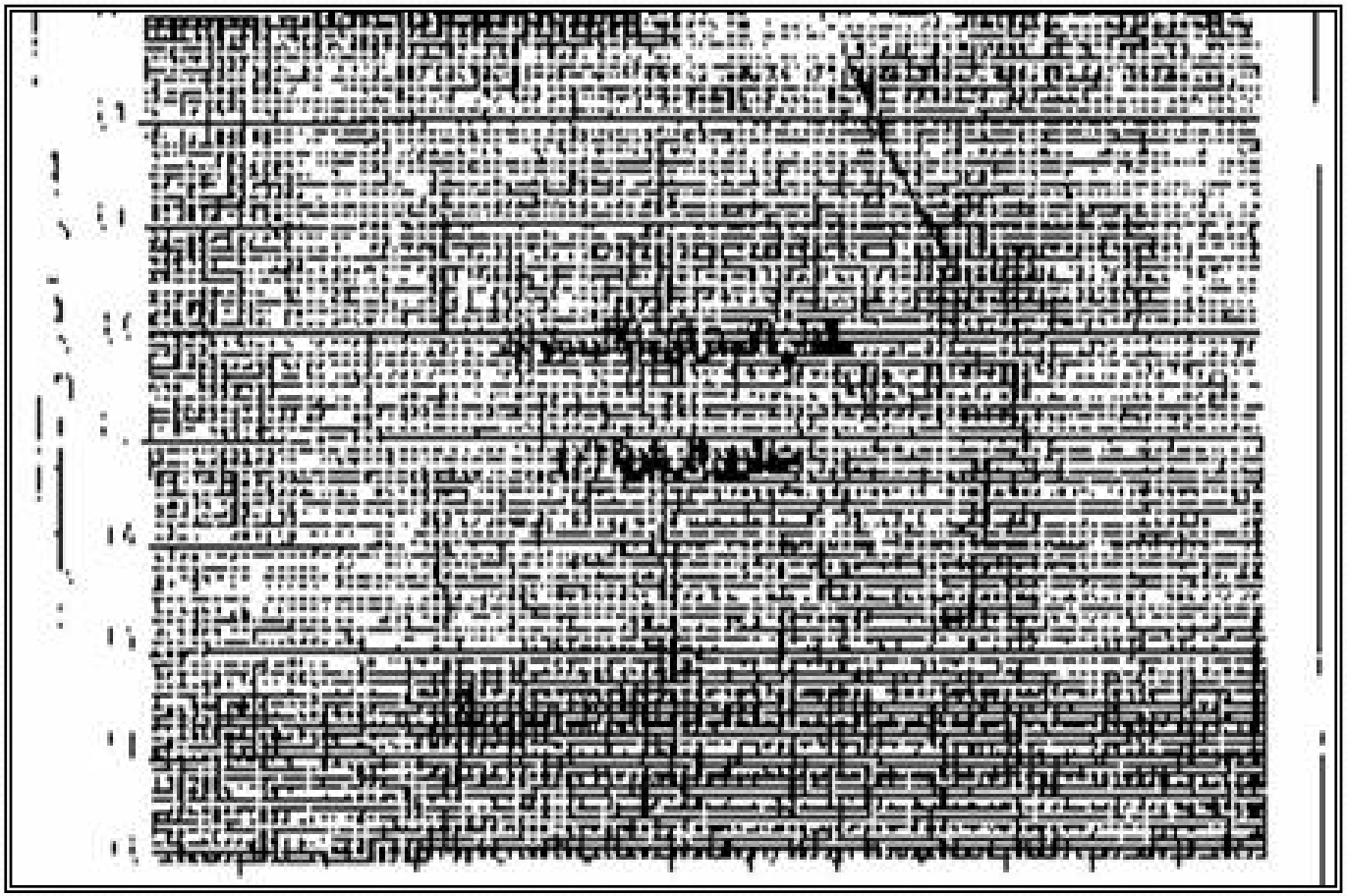
$$IP = WL - WP$$

- **تسجيل النتائج :**

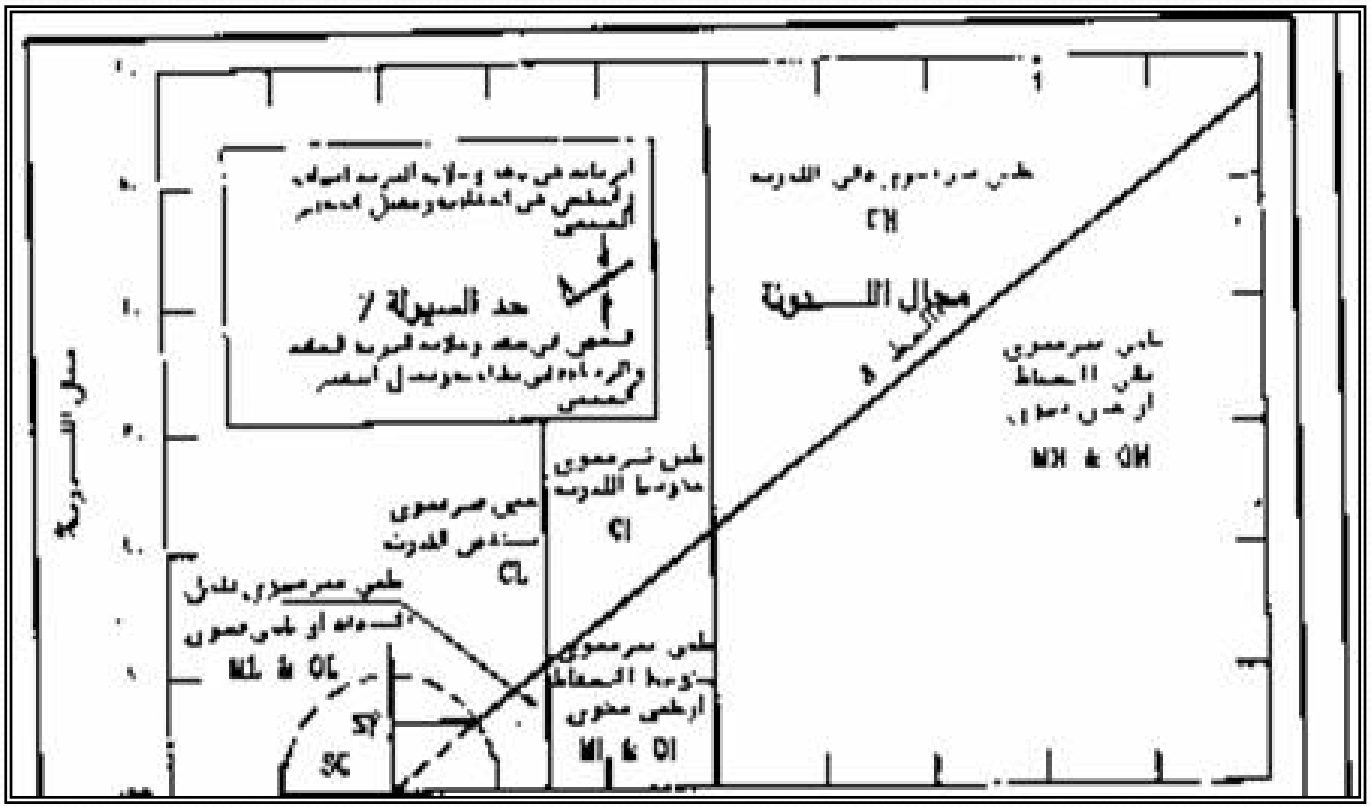
- **توقع قيمة مجال لدونة مع قيمة حد السيولة على بياني اللدونة ويمثل مكان نقطة التقاطع على المنحنى نوع التربة مع فكرة تقريبية عن انضغاطها ونفاذيتها ومقاومتها للأحمال.**



شكل (٣-١) منحنى الانسياب لتعين حد السيولة بطريقة كساجراند
حد السيولة = ...%)



شكل (٣-٢) بيان تعين حد السيولة بطريقة مخروط الإختراق
حد السيولة = ...%)



شكل (٣-٣) بيان اللدونة لكساجراند

رابعا : تعيين حد الانكماش للتربة :

- **الغرض من الاختبار :**

- **الغرض من هذا الاختبار هو تعيين حد الانكماش للتربة الطينية الذي يعرف بأنه أقل محتوى للرطوبة في التربة لا يتغير بعده حجم التربة إذا حدث لها نقص في محتوى الرطوبة. ويستخدم د الانكماش في الاستدلال على أنواع التربة.**

- وهناك طريقتين لتعيين حد الانكماش :
- (أ) طريقة جهاز حد الانكماش.
- (ب) طريقة أطباق حد الانكماش.

- (أ) طريقة جهاز حد الانكماش :

- الجهاز :

- (أ) جهاز تعيين حد الانكماش معد بأسطوانات قياسية من الصلب ذات أحجام معلومة (V).

- (ب) قالب ذو حجم ثابت ليعطي عينات ذات أحجام تقارب أحجام الاسطوانات القياسية.

- (جـ) ميزان حساس سعته ٢٠٠ جرام تبلغ دقته ٠,١ جم.
- (د) فرن كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند ١٠٥ ° ـ ١١٠ °م.
- (هـ) جفنة قطرها حوالي ١٤٠ مم .
- (و) سكين خلط بطول حوالي ١٠٠ مم وعرض حوالي ٢٠ مم.

- الطريقة :

- (أ) في حالة استعمال تربة مقلقلة يوضع في الجفنة حوالي ٥٠ جرام من التربة الجافة التي تمر من منخل قياسي مقياس فتحته ٠,٤٢٥ مم والتي سبق تحضيرها كما فى أولا، ثم تخلط باستعمال السكين خلطا جيدا بمقدار كافي من الماء المقطر بحيث تكون التربة تقريبا عند حد اللدونة.

- (ب) توضع كمية من التربة الرطبة في القالب ذي الحجم الثابت بحيث تنتج عينة أقل من حجم إحدى الاسطوانات القياسية. وذلك بعد انضغاطها في القالب. أما في حالة التربة السليمة فيقطع منها مباشرة جزء أصغر قليلا من حجم إحدى الاسطوانات القياسية.

- (جـ) توضع كمية من الزئبق في غرفة الزئبق الخاصة بجهاز تعيين حد الانكماش ثم يوضع فيها القالب الأسطواني القياسي الذي سبق اختياره والذي يكون حجمه أكبر قليلا من حجم عينة التربة ثم يوضع غطاء غرفة الزئبق في موضعه.يجب مراعاة أن يكون مقدار الزئبق الموجود في غرفة الزئبق كافيا بحيث يكون عمود البيان الزئبقي نصف ممتلئ عند وضع غطائها في موضعه.

- (د) يلف المسمار القلاووظ المتصل بالإبرة البلاتينية بحيث ينغمس طرف الإبرة في الزئبق الموجود في عمود البيان الزئبقي ثم يعاد رفع المسمار القلاووظ بالتدريج إلى أن ينقطع الاتصال بين طرف الإبرة وسطح الزئبق. يمكن معرفة ذلك الانقطاع بانطفاء المصباح الكهربي الصغير.

- (هـ) يلف الميكرومتر الموجود بالجهاز تدريجيا حتى يلامس طرف الإبرة سطح الزئبق. عندما تتم هذه العملية يضئ المصباح الكهربائي الصغير. تسجل قراءة الميكرومتر (Δ) ثم يزال القالب الأسطواني القياسي من عمود الزئبق.

- (و) توزن عينة التربة التي سبق تحضيرها في (ب) ويسجل وزنها إلى أقرب ٠,١ جم (m_1) .

- (ز) توضع عينة التربة في غرفة الزئبق ويوضع غطاء الغرفة في مكانه ثم يلف الميكرومتر حتى يلامس طرف الإبرة سطح الزئبق في عمود البيان الزئبقي وتسجل قراءة الميكرومتر (Δ_1 -).

- (ح) ترفع عينة التربة من غرفة الزئبق وتترك لتجف في الهواء لفترات زمنية مختلفة. توزن العينة بعد كل فترة زمنية (m_2) وتوضع في غرفة الزئبق وتعين قراءة الميكرومتر (Δ_2). ومن الأفضل أن يكون تجفيف العينة في الفترات الأخيرة بوضعها فوق سطح الفرن الكهربائي.

- (ط) توضع العينة في الفرن الكهربائي وتجفف تماما في درجة حرارة ١٠٥ º ـ ١١٠ º وذلك بعد أن يثبت حجم العينة من أثر التجفيف التدريجي.

- (ي) يعين وزن العينة الجاف إلى أقرب ٠,١ جرام (m_d).

- **الحسابات:**

- **(أ) باعتبار أن حجم القالب الأسطواني القياس المستعمل(V) يحسب حجم عينة التربة عند بدء الاختبار كالآتي :**

$$V_1 = V - (\Delta - \Delta_1)$$

- **(ب) يحسب حجم عينة التربة عقب كل فترة تجفيف كالآتي:**

$$V_2 = V_1(\Delta_1 - S\Delta_2)$$

- **(جـ) يحسب الحجم (V-1) لعينة تحتوي على ١٠٠جم من التربة الجافة من العلاقة التالية:**

$$V_1 = \frac{V_1 x 100}{m_d}$$

- حيث : m_d وزن التربة الجافة بالعينة ، V_1 حجم العينة

- ويحسب محتوى الرطوبة (m_d) للعينة المقابلة للحجم (V_1) من العلاقة التالية:

$$mc_1 = \frac{m_1 - m_d}{m_d} x100$$

- (د) ترسم العلاقة بين حجم عينة التربة منسوبا إلى حجم عينة من التربة تحتوي على ١٠٠ جرام من التربة الجافة وبين محتوى الرطوبة للعينة عند هذا الحجم، شكل (٤-١).

- (هـ) يمد الجزء المستقيم من المنحنى حتى يقابل الخط الأفقي المار بالنقطة التي تمثل حجم العينة الجافة (V_d) فيكون الإحداثي الأفقي لنقطة تقاطع هذين الخطين هو حد الانكماش للتربة.

- تسجيل النتائج :

- تسجل النتائج في جدول رقم (٤-١). تجرى هذه التجربة على عينتين من التربة ويؤخذ المتوسط فيكون هو حد الانكماش لها على أن يسجل هذا الحد كنسبة مئوية إلى أقرب رقم صحيح.

- جدول رقم (٤-١) نتائج اختبار حد الانكماش للتربة بطريقة جهاز حد الانكماش

المشروع : رقم الجسة :

الموقع : عمق الجسة :

رقم العينة : وصف التربة :

نسبة المار من منخل رقم ٤٠ : طريقة التجفيف :

محتوى الرطوبة للتربة (%) :

رقم الخطوة	قراءة الميكرومتر (Δ) سم^3	وزن العينة (m) جرام	نسبة محتوى الماء %(wc1)	حجم العينة(V) سم^3	حجم العينة منسوبا إلى ١٠٠جرام من التربة الجافة (V_1) سم^3
الاسطوانة القياسية العينة عند البدء التجربة ١ ٢					

- ٢- طريقة أطباق حد الانكماش :

- الجهاز :

- (أ) أطباق حد الانكماش وهي معلومة الحجم، وعادة يكون الطبق وعاء صغير مصنوع من الألمونيوم بقطر ٤٢ مم وعمق ١٣ مم تقريبا .

- (ب) كأس زجاجي صغير بقطر ٦٥ مم وعمق يتراوح بين ٥٠-٧٠ مم، يمكن استخدامه لتعيين حجم عينة التربة بواسطة الزئبق، شكل رقم (٤-٢)

- (جـ) لوح بلاستيك مثبت به ثلاث مسامير مقاس ٧٥×٧٥مم، شكل رقم (٤-٣)، وذلك للمساعدة في تغويص عينة التربة.

- (د) كأس زجاجي كبير لوضعه أسفل الكأس الزجاجي الصغير وذلك أثناء إيجاد حجم عينة التربة واستقبال الزئبق المزاح نتيجة لتغويص التربة.

- (هـ) قارورة بها زئبق.

- (و) ميزان حساس تبلغ دقته ٠,٠١ جرام.

- (ز) فرن كهربائي آلي الضبط يمكن تثبيت درجة حرارته عند ١٠٥ º ـ ١١٠ ºم.
- (ح) مجفف قطره حوالي ٢٠٠ مم - ٢٥٠ مم يحتوي على سيليكا جيل.
- (ط) سكين خلط مناسب بطول حوالي ١٠٠ مم وعرض ٢٠ مم.
- (ي) قدة صلب للتسوية.

- الطريقة :

- (أ) تؤخذ عينة من التربة المقلقلة التي تمر من منخل قياسي فتحته ٠,٤٢٥ مم والتي سبق تحضيرها طبقا للطريقة الأولى، ثم يتم خلطها بالماء جيدا باستخدام سكين الخلط حتى تصبح جميع الفراغات مملوءة بالماء وبحيث تكون ذات قوام أعلى قليلا من حد السيولة.

- (ب) يدهن طبق حد الانكماش من الداخل بالفازلين وذلك لكي لا تلتصق به عينة التربة بعد التجفيف ثم يوزن الطبق وهو فارغ (m_1).

- (جـ) يملأ طبق حد الانكماش بالكامل بالتربة المعدة في الخطوة رقم (أ) ثم يسوى سطح الطبق باستخدام القدة. ثم يوزن الطبق وبداخله عينة التربة (m_2). يسجل حجم العينة الموجودة بالطبق وهو يعادل حجم طبق الانكماش (V_1).

- (د) يوضع الطبق وما يحتويه من تربة في الفرن الكهربائي لمدة ٢٤ ساعة حتى تجف التربة تماما.

- (هـ) يوضع الطبق من الفرن ويغطى ثم يوضع في مجفف ليبرد ثم يوزن بما فيه من تربة بدون غطاء (m_3).

- (و) لتعيين حجم العينة الجافة يوضع الكأس الزجاجي الصغير وهو فارغ ومن تحته الكأس الزجاجي الكبير ثم يملأ الكأس بالزئبق ويسوى بعد ذلك سطحه بواسطة القدة. يرفع الكأس الزجاجي الصغير وهو مملوء بالزئبق بعناية شديدة من الكأس الزجاجي الكبير وذلك برد الزئبق الزائد إلى قارورة الزئبق، ثم يرد الكأس الزجاجي الصغير وهو مملوء بالزئبق إلى الكأس الزجاجي الكبير.

- (ز) تستخرج العينة الجافة من طبق حد الانكماش وتوضع في الكأس الزجاجي الصغير وتغوص تماما في الزئبق وذلك باستخدام اللوح البلاستيك ذو الثلاثة مسامير والمخصص لذلك، فتزاح كمية من الزئبق تعادل حجم عينة التربة الجافة.

- (ح) تجمع كمية الزئبق المزاحة والموجودة في الكأس الزجاجي الكبير وتوزن. وبمعرفة أن كثافة الزئبق ١٣,٥٣ جرام /سم^{٣} يمكن تحديد حجم العينة التي سبق تجفيفها وهو V_2 .

- (ط) تعاد الخطوات من (أ) إلى (جـ) على عينتين أخرتين من نفس التربة.

- **الحسابات :**

- **يحسب حد الانكماش (S.L) من المعادلة التالية :**

$$S.L. = \left[\left(\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \right) - \left(\frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_3 - m_1} \right) \right] x100$$

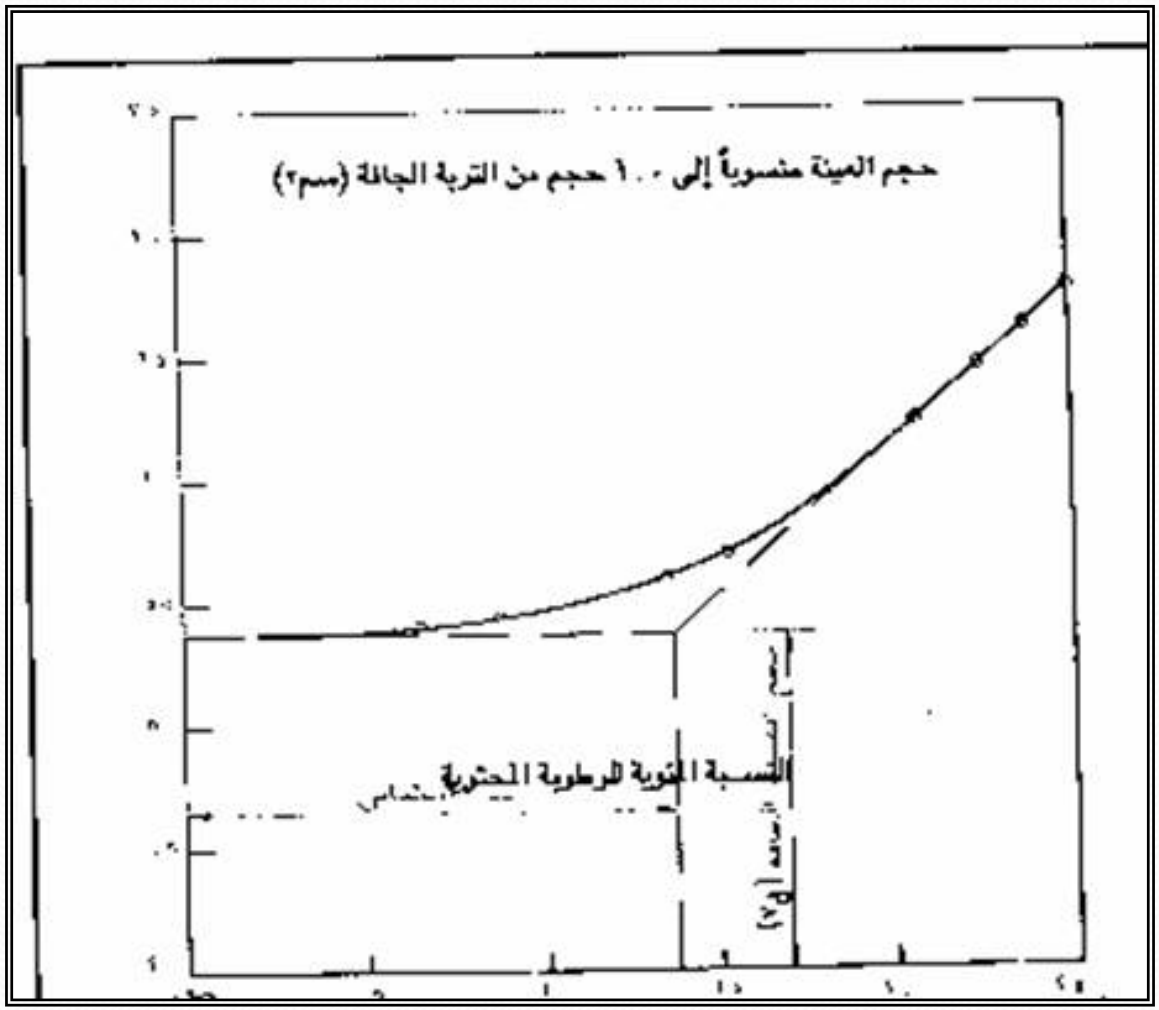
حيث γ_w = كثافة الماء جم /سم^3.

- **تسجيل النتائج:**

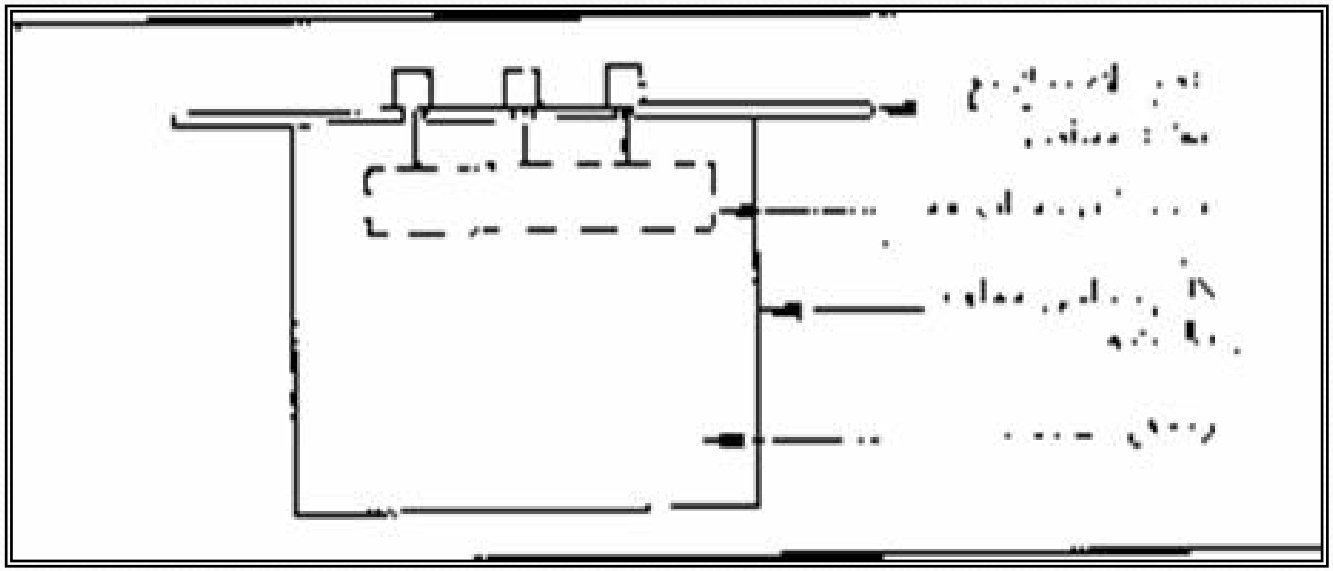
- **تسجل النتائج في جدول رقم (٤-٢) ويؤخذ متوسط النتائج للثلاث عينات ويكون هو حد الانكماش للتربة على أن يسجل هذا الحد كنسبة مئوية إلى أقرب رقم صحيح.**

جدول رقم (٣-٢) نتائج اختبار حد الانكماش للتربة بطريقة أطباق الانكماش

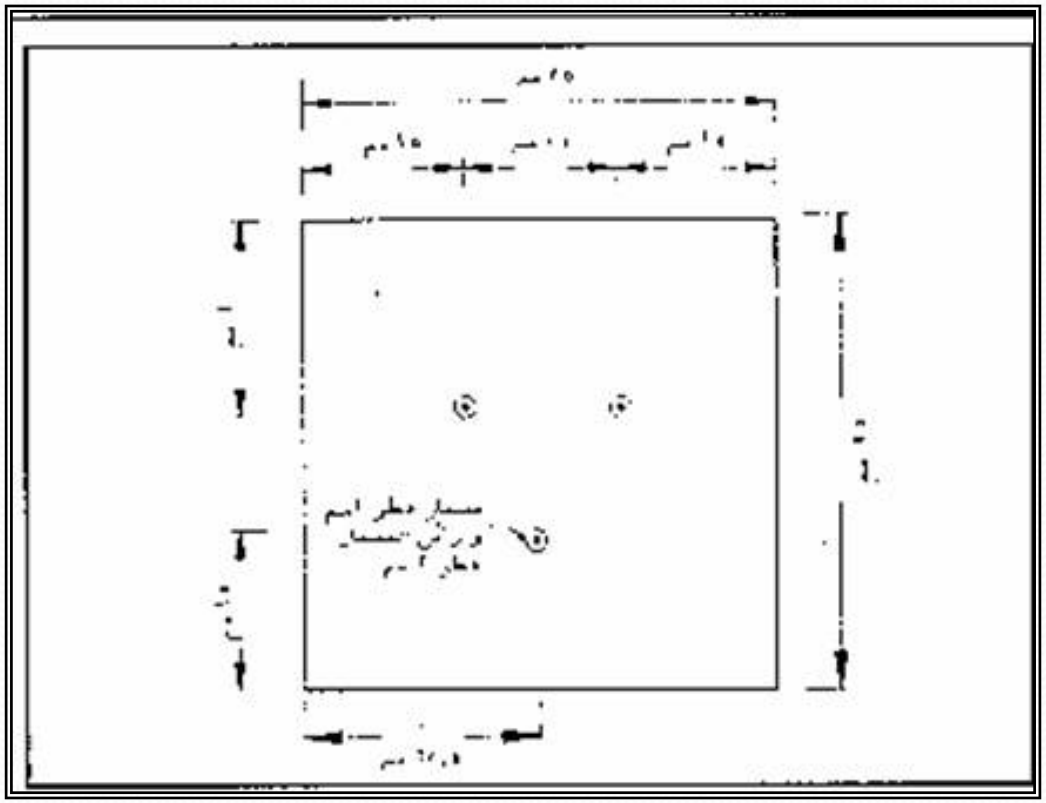
الخطوة	الوزن		
	١	٢	٣
وزن طبق الانكماش وهو فارغ (m_1) جم وزن طبق الانكماش وبه العينة قبل التجفيف (m_2) جم حجم العينة المبللة الموجودة في طبق الانكماش(V_1) سم٣ وزن طبق الانكماش وبه العينة الجافة (m_3) جم حجم العينة الجافة (V_2) سم٣ حد الانكماش(%)			



شكل (٤-١) تعين حد الإنكماش



شكل (٤-٢) عينة التربة الجافة بداخل الكأس الزجاجي المملوء بالزئبق على سطحه لوح التسوية لتحديد حجم الزئبق



شكل (٤-٣) تفاصيل أبعاد اللوح البلاستيك المستخدم في تسوية سطح الزئبق الموجود في الكأس الزجاجي