

محاضرات ميكانيك التربة

اعداد

ميساء سالم

مدرس مساعد

مقدمة في ميكانيك التربة

الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون المتدرب لديه القدرة على معرفة:

- أهمية التربة لمشاريع التشييد.
- تشكيل التربة بحسب العوامل الفيزيائية والكيميائية.
- كيفية تكوين التربة بحسب حبيباتها.
- بعض المشاكل الهندسية المصاحبة لأعمال التربة.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٠٪.

الوقت المتوقع لإنهاء الفصل: ثلاث ساعات

١,١ مقدمة Introduction

تعد التربة (Soil) من أكثر مكونات الظواهر الطبيعية المؤثرة في حياتنا، فهي من أقدم مواد التشييد التي عرفها الإنسان، فقد شيد عليها وشيد بها وشيد فيها. فكان التشييد عليها كما هو الحال في أساسات المنشآت، وشيد بها كما هو الحال في السدود الترابية، وشيد فيها مثل الأنفاق والمناجم. والتربة هي المادة التي استطاعت أن تجمع علوم الهندسة والبيئة والجيولوجيا والكيمياء والفيزياء والنقل والإنشاء وغيرها، وذلك لأهميتها. لذا كان من الضروري المضي قدماً في دراسة علم ميكانيكا التربة لمواكبة متطلبات تقنيات هذه العلوم، وحتى يمكن التصدي للمشاكل المختلفة التي قد تطرأ من استخدامات التربة المتعددة، خاصة إذا عرفنا أنها الأكثر وفرة في محتواها ولكنها الأكثر تعقيداً في خواصها.

إن مادة التربة تختلف عن غيرها من مواد التشييد الأخرى ذات الصفات الثابتة مثل الأسمت والحديد والزجاج وغيرها، فهي مادة تملك خواص طبيعية متنوعة تحتاج إلى دراسات عملية وأخرى نظرية من أجل التعرف على خواصها وسلوكياتها للحد من المشاكل الهندسية التي قد تظهر نتيجة استخدامها. وعند دراسة وتحليل أي مشروع هندسي له علاقة بالتربة فإن القائم على المشروع عادة ما يتبادر إلى ذهنه عدة تساؤلات منها:

١. هل تربة الموقع مناسبة لإقامة هذا المشروع؟

٢. هل التربة لديها القدرة على تحمل الإجهادات الناتجة عن المشروع؟

٣. هل من الممكن أن تتعرض التربة إلى مشاكل هندسية في المستقبل؟

٤. ما هو أفضل تصميم اقتصادي للمشروع يمكن أن يتناسب مع طبيعة التربة؟

وطريقة التعامل مع تربة المشروع تختلف باختلاف نوع وطبيعة المشروع نفسه. فالمشاريع الرئيسية القائمة على التربة، مثل المباني والطرق والجسور والأنفاق والأبراج والقنوات المائية والسدود، لها مواصفات متباينة، وبالتالي فإن أي من هذه المشاريع يحتاج إلى دراسات نظرية واختبارات عملية لتربة الموقع قد تختلف عن تلك التي يحتاجها المشروع الآخر.

١,٢ تعريف Definitions :

يعرف علم ميكانيكا التربة بأنه العلم الذي يهتم بخواص وأداء وسلوكيات التربة وتأثير القوى والأحمال عليها متضمنا الدراسات النظرية والاختبارات العملية. ولم يظهر علم ميكانيكا التربة كعلم هندسي إلا في الربع الأول من القرن العشرين الميلادي، وذلك عندما أصدر أستاذ التربة (يسميه البعض: مؤسس علم التربة) كارل ترزاكي Karl Terzaghi الكتاب الأول في علم ميكانيكا التربة وتم طباعته في ذلك الوقت (١٩٢٥ م) باللغة الألمانية، وبين فيه تعامل التربة مع الأحمال والمياه. ثم توالى مؤلفات علم ميكانيكا التربة حتى أصبح محل اهتمام الكثير من العلماء والباحثين، بل وأصبح هذا العلم مفتاحاً لحل الكثير من المشاكل الهندسية والاقتصادية في مشاريع التشييد وخاصة أعمال التأسيس منها.

والتربة يمكن أن تعرف بأنها تلك الطبقة القشرية من الأرض التي تكونت نتيجة تفتيت الصخور بسبب عوامل التجوية والتعرية وكذلك من المواد العضوية الناتجة عن تحلل وتآكل النباتات والحيوانات. فالتربة تحتوي على هواء ومواد معدنية وعضوية ومحاليل، وهي بذلك تعد خليطاً غير متجانس يحتوي على حالات المادة الثلاث: الصلبة والسائلة والغازية.

١,٣ تشكل التربة Soil Formation

تتشكل التربة نتيجة تفتت الصخور إما بسبب التجوية الفيزيائية أو الكيميائية، وبعد عمليات التفتت فإنه يمكن تقسيم التربة حسب نشأتها إلى قسمين رئيسيين هما:

- تربة متبقية Residual Soil وهي التي تشكلت نتيجة تفتت الصخور بفعل وتأثير العوامل الجوية (أمطار، رياح، حرارة، رطوبة، جليد) وأدى ذلك إلى تكون حبيبات متفككة وظلت تتراكم بنفس موقعها الأصلي الذي تشكلت فيه بدون أن تنتقل منه. ويعتمد تواجد وانتشار هذا النوع من التربة على درجة تأثير العوامل الجوية وعلى نوع الصخر الأساسي ودرجة صلابته وعلى عامل الزمن وتوفر العوامل الكيميائية النشطة.
- تربة منقولة Transported Soil وهي التي تشكلت نتيجة تفتت الصخور بفعل العوامل الجوية وانتقلت إلى مكان آخر بواسطة عوامل التعرية مثل: المياه، الرياح، الثلج، فعل الجاذبية. ويختلف تشكيل هذا النوع من التربة باختلاف طريقة النقل. فمثلاً التربة المنقولة عن طريق تدفق المياه أو الفيضانات تشكل

تربة لها حبيبات ناعمة وتتواجد في الأودية وعلى امتداد الأنهار، بينما التربة المنقولة بواسطة الرياح ذات ملمس خشن مثل الرمال المفككة.

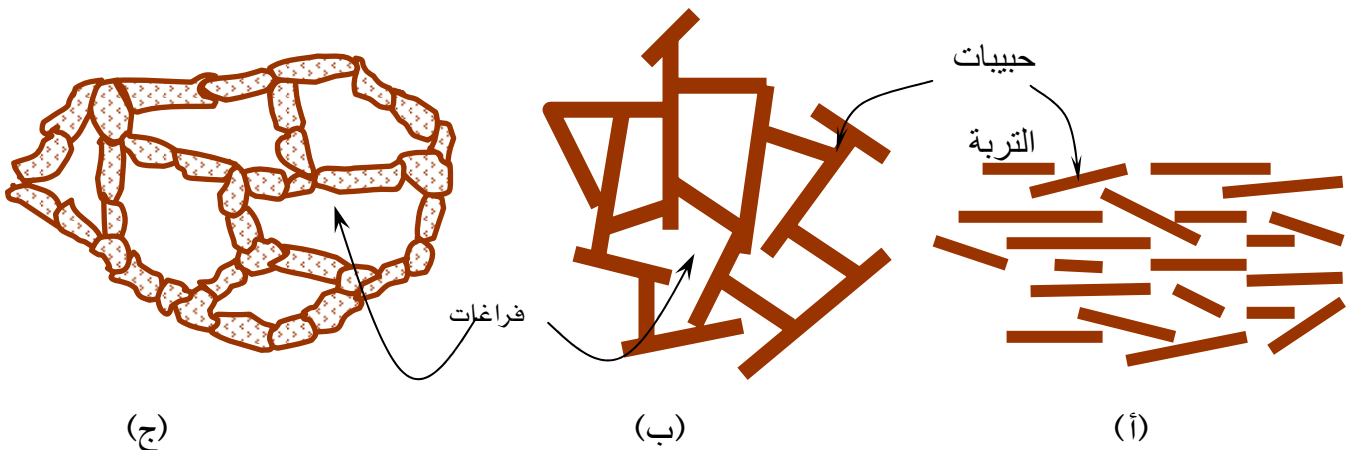
١,٤ تركيب التربة Soil Structure

إن القصد من تركيب التربة هو ما يتعلق بترتيب حبيباتها مع بعضها البعض. ويمكن تصنيف التربة حسب تركيب حبيباتها إلى صنفين:

أ- تربة ناعمة الحبيبات Fine Grained Soil

ويسمى هذا الصنف بالتربة المتماسكة cohesive soil حيث تتميز حبيباتها بأنها دقيقة وناعمة وتتأثر بنسبة الماء الموجود فيها ويوجد قوى تماسك وجذب بين حبيباتها، ومن أمثلتها: الطمي Silt والطين Clay ، ويأخذ تركيب هذا الصنف من التربة التوزيع الموضح في شكل (1.1) وهي:

- تركيب ذات بناء مشتمت dispersion الشكل: ينطبق هذا التركيب على التربة الطينية، حيث تترسب حبيباتها في المياه العذبة وينتج عن ذلك وجود شحنات متشابهة تؤدي إلى تناثر الحبيبات.



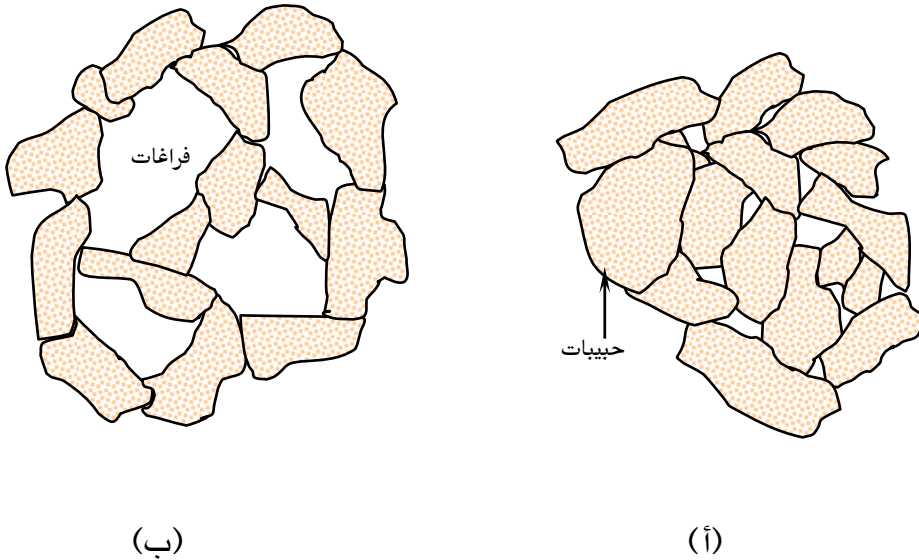
شكل (1.1): تركيب حبيبات التربة الناعمة: (أ) تشتمت، (ب) أشعث، (ج) خلوي

▪ تركيبية ذات بناء أشعث flocculation: ينطبق هذا التركيب على التربة الطينية، حيث تترسب حبيبات هذا النوع في المياه المالحة وينتج عن ذلك وجود شحنات مختلفة تؤدي إلى تجاذب حبيباتها.

▪ تركيبية ذات بناء خلوي honeycomb or cellular: ينطبق هذا التركيب على التربة الطميية، حيث تترسب حبيبات هذا النوع في المياه المالحة وتتصف بكثرة واتساع فراغاتها وضعف مقاومتها للأحمال.

ب- تربة خشنة الحبيبات Coarse Grained Soil

ويطلق عليها التربة المفككة أو غير المتماسكة cohesionless soil حيث تتباين تركيبات حبيباتها من الحالة الكثيفة dense إلى الحالة السائبة loose، ولا يوجد قوى تماسك بين حبيباتها وإنما يوجد قوى احتكاك وقوى الجذب الأرضي، ومن أمثلتها: كسر الحجارة Boulders والركام Gravel، والرمل Sand، ويأخذ تركيب هذا الصنف من التربة التوزيع الموضح في الشكل (١،٢).



شكل رقم (١،٢): تركيبية حبيبات التربة الخشنة: (أ) كثيف، (ب) سائب

١,٥ المشاكل المصاحبة لأعمال التربة:

تعد أعمال التربة ذات طبيعة تجعل المهندس المسؤول عن المشروع يتوقع حدوث مشكلات هندسية أثناء التحضير للمشروع أو أثناء تنفيذه أو حتى بعد الانتهاء منه. فصواب المهندس المشرف يبقى بارزاً للعيان بينما خطأه -لا سمح الله- قد يؤدي إلى ضحايا بالعشرات أو بالمئات. والمشكلات المصاحبة لأعمال التربة عديدة، يوضح الشكل (١,٣) بعضاً منها، ولكن يمكن إبرازها في تقسيماتها الرئيسية التالية:

١. مشاكل استقرار التربة Soil Stability Problems مثل انجراف التربة المائلة، وحركة الجدران الساندة نتيجة الضغط الجانبي للتربة، وانهيار التربة نتيجة الإجهادات الرأسية عليها.

٢. مشاكل هبوط التربة Soil Settlement Problems مثل انضغاطية التربة مع مرور الزمن والتغير في حجمها نتيجة الإجهادات الرأسية عليها وكذلك التشكيلات اللدنة والمرنة عند تعرضها لأحمال إضافية.

٣. المشاكل الناتجة عن البيئة Environmental Related Problems والتي قد تعود إلى طبيعة الطقس من حيث الأمطار والرياح ودرجات الحرارة، و إلى الكوارث الطبيعية مثل الزلازل والفيضانات، وإلى التغيرات الكيميائية للتربة نتيجة أعمال التلوث المختلفة.

٤. مشاكل تسرب المياه Seepage Problems والمرتبطة بنفاذية التربة وسرعة حركة المياه فيها وكميتها المتدفقة من خلال مسام التربة وكذلك نوع المتكون (المكمن) المائي والضغط المائية التي تتعرض لها التربة.

٥. المشاكل الناجمة عن أعمال الحفر Excavation Related Problems وما قد يحدث عنها من انقفاخ أو انكماش أو انهيار للتربة.

ويأتي حل المشاكل المصاحبة لأعمال التربة نتيجة عمل دراسة للتربة بالموقع، بالإضافة إلى مساهمة واحد أو أكثر من العوامل التالية:

- معرفة التكوينات الجيولوجية للتربة
- توفر عامل الخبرة لدى الجهاز الهندسي
- توفر عامل المادة لدعم الحلول الهندسية

فيما تظل المعرفة بعلم ميكانيكا التربة والحكم الهندسي من أبرز عناصر الحلول الهندسية لمشاكل التربة.



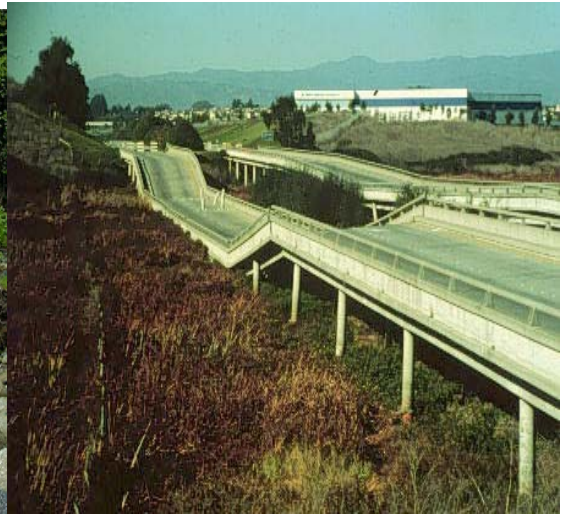
(ب)



(أ)



(د)



(ج)

شكل (١.٣) بعض المشاكل المصاحبة لأعمال التربة: (أ) انزلاقات أرضية تسبب في طمر مباني سكنية واقعة على أو أسفل المنحدرات، (ب) انجراف التربة تسبب في حدوث فجوة أرضية، (ج) هبوط التربة أدى إلى انهيار جسر بطريق رئيس، (د) انجراف التربة بمياه السيول أدى إلى أضرار بالغة بطريق محلي.

المحاضرة الثانية

قوام التربة Soil Consistency

اعداد

ميساء سالم

2.3 قوام التربة Soil Consistency

يعتمد قوام التربة ومدى تماسك وارتباط حبيباتها على نسبة المحتوى المائي بها، فكلما زادت نسبة المحتوى المائي بها قل قوامها وضعف تحملها وتباعدت حبيباتها المتجاورة وأصبحت تميل إلى الحالة السائلة. والتربة المتماسكة cohesive soil مثل الطمي والطين والتي لها حبيبات ناعمة توصف باللدنة، وبحسب محتواها المائي فإنها تقع في أحد الحالات الأربع التالية:

(1) الحالة الصلبة Solid State

(2) الحالة شبه الصلبة Semisolid State

(3) الحالة اللدنة Plastic State

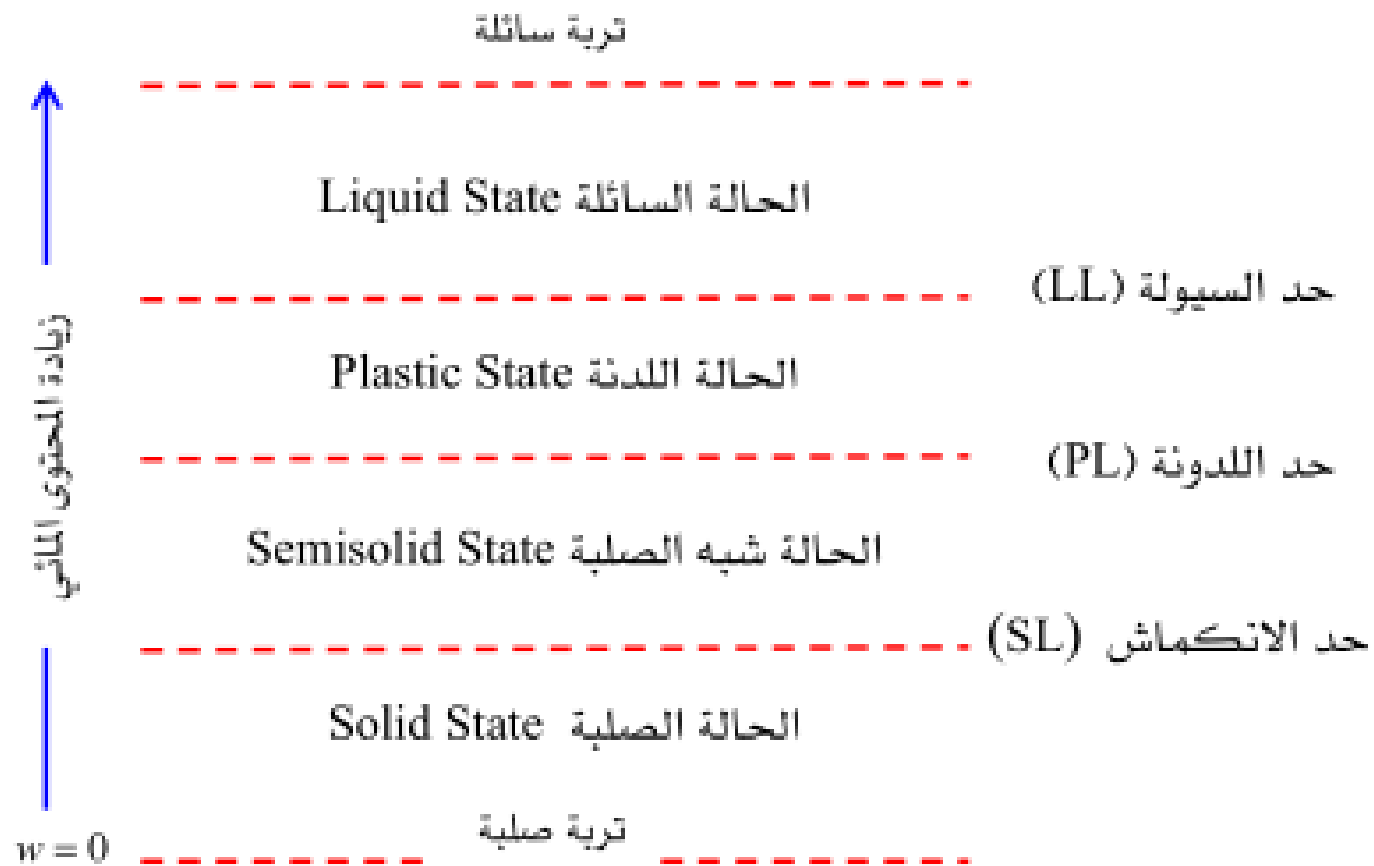
(4) الحالة السائلة Liquid State

وتعرف المحتويات المائية التي تتحول عندها التربة من حالة إلى حالة أخرى مجاورة بحدود أتبرج

Atterberg Limits، وهو باحث سويدي قدم هذه الحدود وعرفها كما يلي:

- Liquid Limit (LL) حد السيولة
- Plastic Limit (PL) حد اللدونة
- Shrinkage Limit (SL) حد الانكماش

وتعدّ حدود أتريج من المعايير الرئيسية المستخدمة في تصنيف وتحديد خواص التربة المتماسكة، والشكل (2.2) يوضح حالات التربة الأربع وحدود القوام بينها.

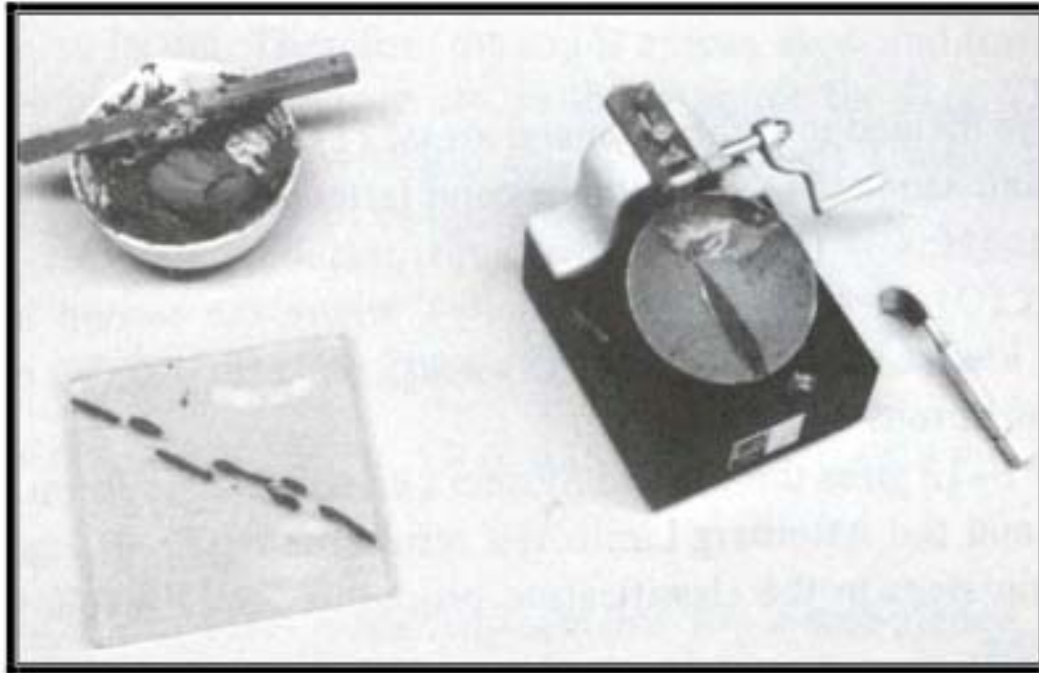


شكل (2.2): حالات التربة مع حدود القوام

حد السيولة (Liquid Limit (LL):

يعرف حد السيولة بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة السائلة إلى الحالة اللدنة. والتربة التي لها حد سيولة عالي تدل على احتوائها على كميات طين عالية وبالتالي تكون قوة تحملها للقض ضئيلة وتتصرف كما لو أنها سائل لزج.

وعملياً فإن حد السيولة هو المحتوى المائي الذي تقفل عنده العلامة المحددة على جهاز كازاجراندي Casagrande بعد 25 ضربة، وموضح ذلك الجهاز في الشكل (2.3). وسوف يتم التطرق إلى تجربة حدود أتيرج في الجانب العملي من هذه الحقبة التدريبية.



شكل (2.3): أجهزة تحديد حدي السيولة واللدونة

حد اللدونة (PL) Plastic Limit :

يعرف حد اللدونة بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة اللدنة إلى الحالة شبه الصلبة. وإذا وقع المحتوى المائي للتربة بين حد اللدونة والمحتوى المائي الطبيعي لها فإن التربة تكون لدنة. وعملياً فإن حد اللدونة هو المحتوى المائي عندما يبدأ خيط من التربة قطره 3mm في التشقق والتفتت بعد دحرجته على لوح زجاجي مخصص لهذا الغرض، كما يوضحه الشكل (2.3). والتربة التي لا تتدحرج ولا تصل إلى هذا الخيط الرفيع من التشكيل تعد تربة غير لدنة.

حد الانكماش (Shrinkage Limit (SL):

يعرف حد الانكماش بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة شبة الصلبة إلى الحالة الصلبة. أو هو المحتوى المائي الناتج بعد إضافة أقل كمية من الماء لملاء فراغات التربة الجافة. فكلما كان حد الانكماش قليلاً كلما أثر ذلك على التغيرات الحجمية للتربة.

ويعرف الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة بعلامة أو مؤشر اللدونة (Plasticity Index (PI والذي يوضح من خلال العلاقة:

$$PI = LL - PL \quad (2.20)$$

والتربة التي لها مؤشر لدونة عالٍ تعد تربة ذات خواص أفضل من تلك التي مؤشر لدونتها منخفض.

كما يمكن تحديد مؤشر أو علامة السيولة (LI) للتربة المتماسكة من العلاقة:

$$LI = \frac{w - PL}{PI} \quad (2.21)$$

حيث w المحتوى المائي للتربة في الموقع، والتربة التي لها مؤشر السيولة أقل من واحد تعد تربة طينية حساسة sensitive clay قابلة للانهمار.

مثال (2.5):

عينة من التربة أظهرت اختبارات المعملية النتائج التالية: المحتوى المائي الطبيعي $w = 43.8\%$ ، حد السيولة $LL = 48.3\%$ ، علامة اللدونة $PI = 21.7\%$ ، فأوجد حد السيولة وعلامة السيولة لهذه التربة.

الحل:

باستخدام العلاقة (2.20) يمكن تحديد حد اللدونة:

$$PI = LL - PL$$

$$21.7 = 48.3 - PL$$

$$PL = 26.6\%$$

أما علامة السيولة فتوجد باستخدام المعادلة (2.21):

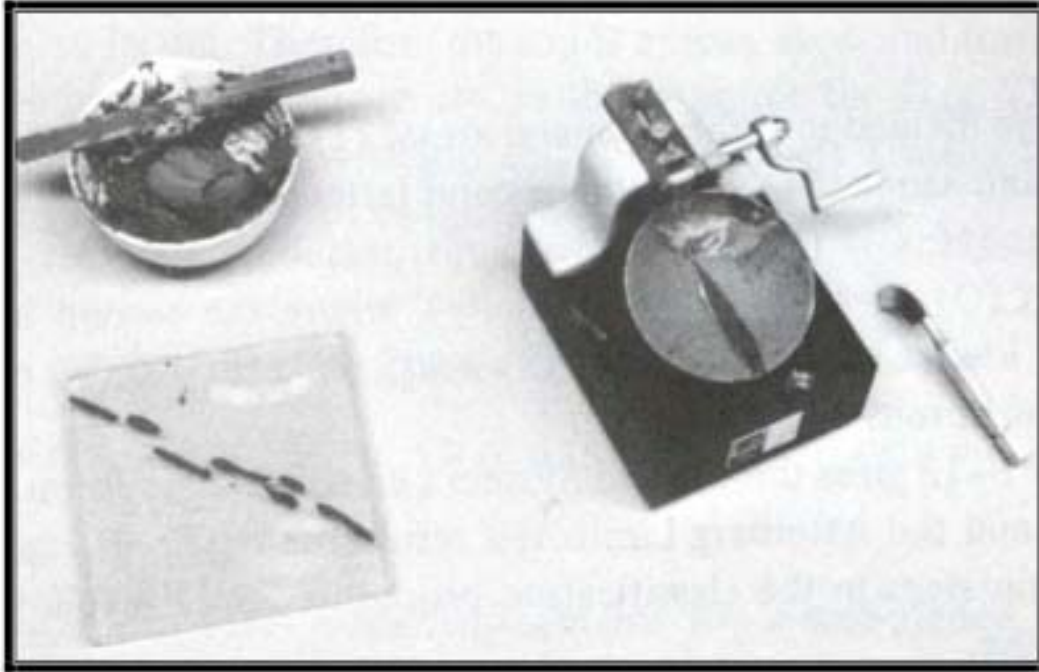
$$\begin{aligned} LI &= \frac{w - PL}{PI} \\ &= \frac{43.8 - 26.6}{21.7} = 0.79 \end{aligned}$$

التجربة الثانية:

اختبار حد السيولة Liquid Limit Test

الأدوات المستخدمة:

1. جهاز كازاجرانند Cassagrande مع أداة القطع التابعة له.
2. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.01 gm
3. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
4. علبة صفيح أو ألومنيوم
5. ملقاط أو أداة واقية للحرارة
6. منخل رقم 40
7. ماء مقطر
8. سكينه خلط



شكل (2.3): أجهزة تحديد حدى السيولة واللدونة

جدول (3.2): فتحات مناخل التحليل الميكانيكي

رقم المنخل SIEVE NO.	فتحة المنخل OPENING (MM)
4	4.750
10	2.000
20	0.850
40	0.425
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
200	0.074

طريقة العمل:

1. تأكد من معايرة جهاز كازاجرانند وتصحيحه إذا لزم لتكون مسافة سقوط الجهاز 1 cm.
2. زن أربع غلب بعد معرفة تصنيفها لتحديد المحتوى المائي.
3. خذ حوالي 100-150 gm من التربة بعد مرورها من منخل رقم 40 وأخلطها مع الماء المقطر حتى تشكل عجينة ذات قوام منتظم. ضع جزء من التربة المخلوطة في الوعاء الخاص بجهاز كازاجرانند وأعمل لسطحها تعميم بحيث تكون على سمك نصف البوصة، ثم ارسم بأداة القطع مجرى محوري على طول العينة على أن تكون أداة القطع عمودية على الوعاء. ابدأ بتشغيل جهاز كازاجرانند بمعدل دورتين في الثانية، واحسب عدد الضربات اللازمة لإقفال المجرى بمسافة نصف بوصة في أسفل الوعاء. خذ جزء من عينة التربة من قرب المجرى وحدد وزنها وضعها في الفرن لتحديد محتواها المائي.
4. أعد خلط عينة التربة التي في الوعاء وبمحتوى مائي مختلف، وكرر خطوات التجربة من 4 إلى 6، حيث يتم تحديد المحتوى المائي لأربع عينات تربة وبعدها ضربات يتراوح بين العشرة والأربعين. ويفضل أن تبدأ بتربة جافة ويتم زيادة الماء عليها في كل مرة.

٥. ارسم العلاقة بين المحتوى المائي ولوغاريتم عدد الضربات وبمتوسط أربع نقاط، وبالتالي فإن حد السيولة هو المحتوى المائي المناظر لعدد ٢٥ ضربة.

العمليات الحسابية :

يحسب المحتوى المائي في كل مرة بإيجاد النسبة بين وزن الماء الموجود في العينة ووزن المواد الصلبة للعينة وذلك من العلاقة:

$$w(\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

حيث:

$$W_1 = \text{وزن الوعاء فارغاً}$$

$$W_2 = \text{وزن الوعاء} + \text{وزن التربة الرطبة}$$

$$W_3 = \text{وزن الوعاء} + \text{وزن التربة الجافة}$$

MISSOURI

S&T

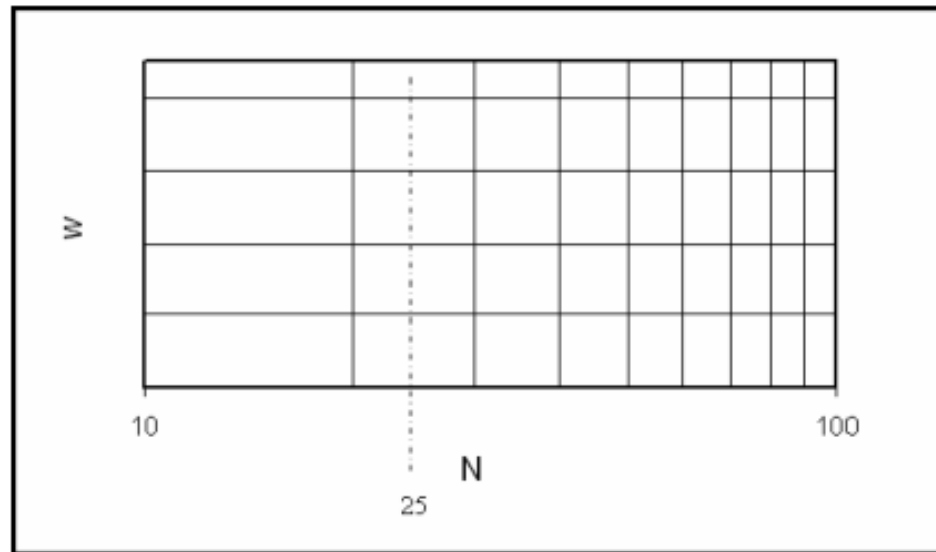
University of
Science & Technology

اختبار حد السيولة

المشروع:.....
رقم العملية:.....
موقع المشروع:..... رقم الجسة:..... رقم العينة:.....
وصف التربة:.....
عمق العينة:..... اسم الفاحص:..... التاريخ:.....

جدول تحديد حد السيولة

رقم الوعاء					
وزن الوعاء + التربة الرطبة (جم)					
وزن الوعاء + التربة الجافة (جم)					
وزن الوعاء (جم)					
وزن التربة الجافة (جم)					
وزن التربة الرطبة (جم)					
المحتوى المائي (%)					
عدد الضربات (N)					



التجربة الثالثة:

اختبار حد اللدونة Plastic Limit Test

الأدوات المستخدمة:

١. لوح زجاجي أو بلاستيك
٢. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.01 gm
٣. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
٤. علبة صفيح أو ألمنيوم
٥. ملقاط أو أداة واقية للحرارة
٦. منخل رقم 40
٧. ماء مقطر
٨. سكين خلط

طريقة العمل:

١. اخلط حوالي 15 gm من التربة بعد مرورها من منخل رقم 40 واخلطها مع الماء المقطر حتى تشكل عجينة ذات قوام منتظم.
٢. شكل عينة التربة على هيئة خيط وابدأ في دحرجتها باليد على اللوح الزجاجي (البلاستيك) حتى يصبح قطرها حوالي $\frac{1}{8}$ (≈ 3 mm) البوصة دون أن ينقطع.
٣. خذ جزء من عينة التربة المدحرجة وحدد وزنها وضعها في الفرن لتحديد محتواها المائي.
٤. كرر الخطوات ٢ و ٣ وبمحتويات ماء مختلفة.

العمليات الحسابية:

- يتم عمل التجربة ثلاث مرات ويؤخذ المتوسط لتحديد حد اللدونة.
$$PL = \frac{PL_1 + PL_2 + PL_3}{3}$$
- معملياً، تعد التربة عديمة اللدونة عندما يكون حد اللدونة أكبر من أو مستويًا لحد السيولة، أو عندما يصعب تحديد حدي السيولة واللدونة.

اختبار حد اللدونة

المشروع:.....
رقم العملية:.....
موقع المشروع:..... رقم الجسة:..... رقم العينة:.....
وصف التربة:.....
عمق العينة:..... اسم الفاحص:..... التاريخ:.....

جدول حسابات حد اللدونة

رقم الوعاء		
وزن الوعاء + التربة الرطبة (جم)		
وزن الوعاء + التربة الجافة (جم)		
وزن الوعاء (جم)		
وزن التربة الجافة (جم)		
وزن التربة الرطبة (جم)		
المحتوى المائي (%) PL		

شكرا احسن اصغائكم

الأسبوع الثالث والرابع
Soil Classification تصنيف التربة

اعداد
ميساء سالم
مدرس مساعد

3.1 مقدمة Introduction:

يقصد بتصنيف التربة أن توضع كل تربة مع المجموعة التي لها نفس الخواص والسلوكيات. ويمكن القول بأن تصنيف التربة هو لغة التخاطب الأولى بين المهتمين بعلم التربة، ويعد من الأمور المهمة التي يلزم معرفتها والإلمام بها. فالتصنيف يعتمد على الغرض من استخدام التربة، فقد يكون التصنيف لأغراض زراعية أو هندسية أو جيولوجية أو غير ذلك. وبمعرفة نوع التربة يمكن التعامل معها وحلّ المشاكل التي قد تظهر عند استخدامها. إضافة على ذلك، فالتصنيف يعد بمثابة الدليل عند الحاجة إلى دراسة التربة نظرياً أو عملياً.

ولقد حظي تصنيف التربة باهتمام عدد من العلماء والباحثين في مجال ميكانيكا التربة، فظهرت منذ عدة عقود من الزمن العديد من أنظمة تصنيف التربة والتي من أبرزها:

- تصنيف التربة حسب التوحيد القياسي Unified Soil Classification System
- نظام آشتو American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- التصنيف العالمي للتربة The International Soil Classification System
- المنظمة الأمريكية لاختبار المواد American Society of Testing Materials (ASTM)
- مكتب التربة بالولايات المتحدة الأمريكية Bureau of Soils (USDA)

إن حجم حبيبات التربة من المعايير الرئيسية في تصنيف التربة، وبناءً عليها فقد تم تقسيم التربة إلى أربعة مجموعات بحسب معدل طول قطر حبيباتها وهي: الحصى والرمل والطيني والطين، كما في الجدول (3.1). ويلاحظ أن الحد الفاصل بين الحصى والرمل هو القطر 2.0 mm حيث يمكن تمييز حبيباتها بالنظر، وهذا المنخل يسمى منخل رقم ٤، بينما الحد الفاصل بين الطمي والطين هو القطر 0.002 mm والتي يصعب رؤيتها بالعين المجردة. أما الحد الفاصل بين الرمل والطيني فتتسبب إلى قطر المنخل الذي فتحة 0.075 mm وهذا المنخل يسمى منخلاً رقم 200.

جدول (3.1): تصنيف التربة بحسب حجم حبيباتها

حجم الحبيبات Particles Size	التصنيف Classification
$2.0 \text{ mm} < Gravel$	حصى Gravel
$0.074 \text{ mm} < Sand < 2.0 \text{ mm}$	رمل Sand
$0.002 \text{ mm} < Silt < 0.074 \text{ mm}$	طيني Silt
$Clay < 0.002 \text{ mm}$	طين Clay

3.2 التدرج الحبيبي للتربة Particle Size Distribution of Soil

يعد التدرج الحبيبي من أهم الطرق المستخدمة في تصنيف التربة، حيث يتم فصل حبيباتها عن بعضها تبعاً لأحجامها بواسطة التحليل الميكانيكي، والذي يتضمن:

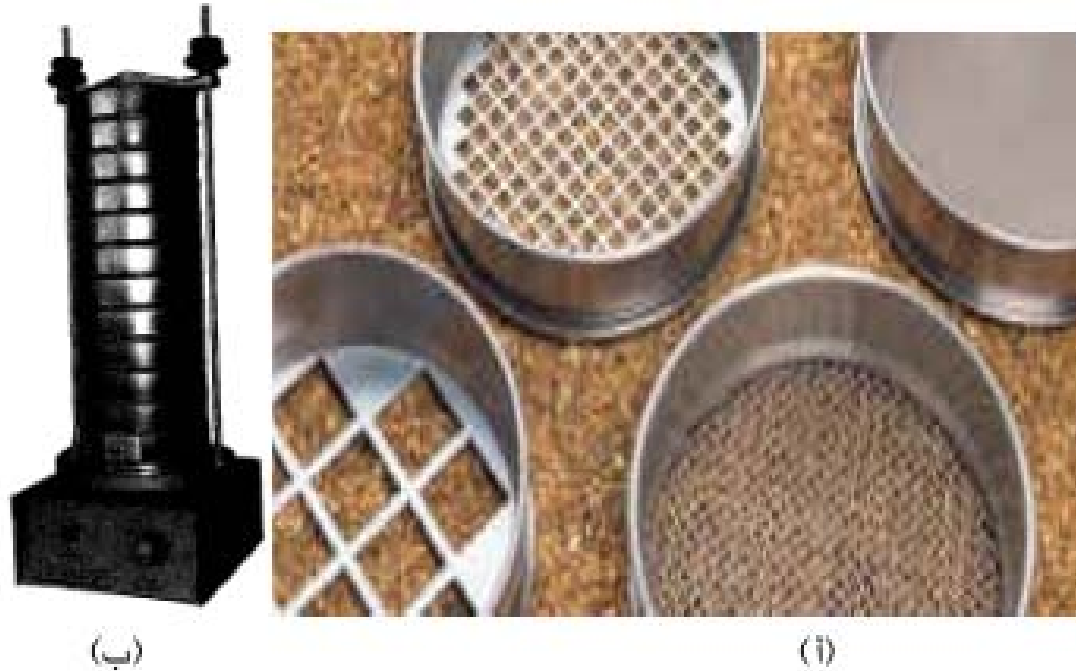
١. اختبار التحليل المنخلي Sieve Analysis Test

٢. اختبار التحليل الهيدرومترى Hydrometer Analysis Test

ويجرى اختبار التحليل المنخلي على الجزء الخشن من التربة (الحصى والرمل) والذي تزيد أقطار الحبيبات فيه عن 0.075 mm (منخل رقم 200)، فيما يجرى اختبار التحليل الهيدرومترى على الجزء الناعم من التربة (الطيني والطين) وذلك لصعوبة فصل حبيباتها بالتحليل المنخلي. وتشكل نتائج كلا الاختبارين التدرج الحبيبي للتربة.

3.2.1 اختبار التحليل المنخلي Sieve Analysis Test

تتمثل فكرة هذا الاختبار في فصل حبيبات التربة التي تزيد أقطارها عن 0.074 mm بواسطة مجموعة من المناخل القياسية التي تحمل أرقاماً تتراوح غالباً بين رقم 4 ورقم 200، حسب المواصفات الأمريكية، وتنتهي بصينية (وعاء) Pan مصمته تأخذ شكل المناخل، كما هو موضح في الشكل (3.1). وهذه المناخل ذات فتحات ثابتة يتم ترتيبها من الأكبر إلى الأصغر حسب قطر الفتحات الموضحة في الجدول (3.2).



شكل (3.1): بعض مناخل التحليل الميكانيكي: (ا) مفرقة، (ب) على الهزاز الميكانيكي

جدول (3.2): فتحات مناخل التحليل الميكانيكي

رقم المنخل SIEVE NO.	فتحة المنخل OPENING (MM)
4	4.750
10	2.000
20	0.850
40	0.425
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
200	0.074

ويتم تمرير عينة من التربة معلومة الوزن، بعد تجفيفها، على مجموعة من المناخل القياسية. وبعد هزها حسب متطلبات التجربة يتم تحديد وزن التربة المتبقية على كل منخل وحساب النسبة المئوية لكل جزء متبق وذلك بقسمة هذا الوزن على الوزن الإجمالي للعينة. بعدها يتم حساب النسب التراكمية للتربة

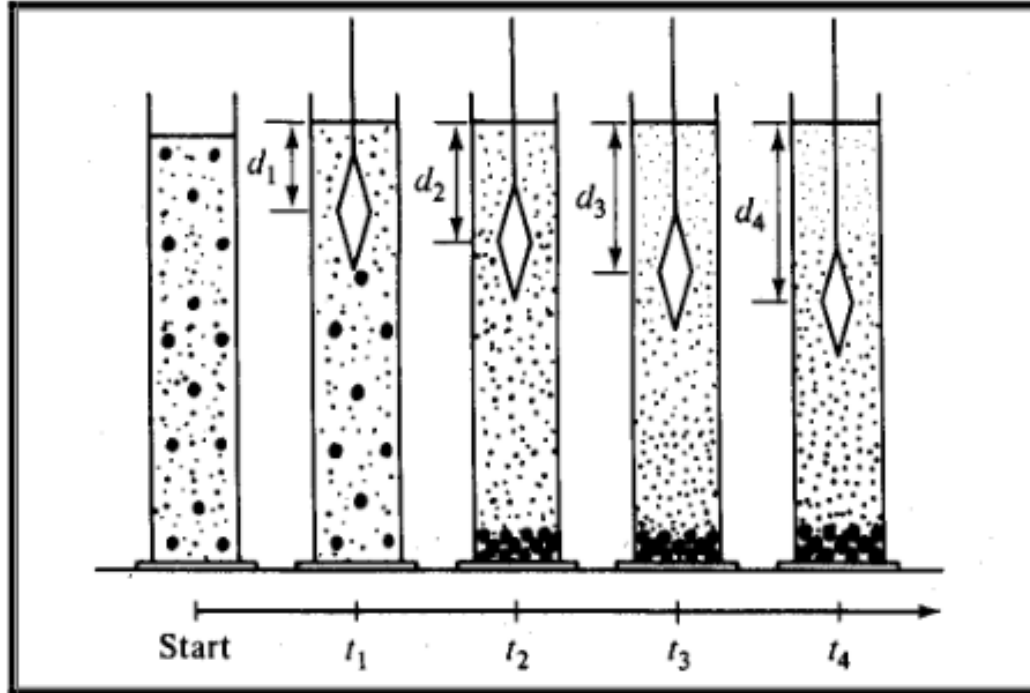
المتبقية على المناخل، فمثلاً النسبة التراكمية على المنخل الثالث من الأعلى هي مجموع النسب المتبقية على مجموعة المناخل الأول والثاني والثالث. أما نسبة التربة الناعمة والمارة من كل منخل فتكون نتيجة طرح النسبة التراكمية من إجمالي النسب المئوية (100 %). وسوف يتم شرح تجربة التحليل المنخلي في الجزء العملي من هذه الحقيبة التدريبية.

3.2.2 اختبار التحليل الهيدروميتري (المائي) Hydrometer Analysis Test

يجرى هذا الاختبار على التربة ذات الحبيبات الدقيقة والمارة من منخل رقم (200) والتي من أهمها نسبة المواد الطينية. والهيدروميتر المستخدم في هذا الاختبار، والموضح في الشكل (3.2)، يقيس كثافة محلول الماء والتربة والذي يدل على نسبة حبيبات التربة العالقة بذلك المحلول. وتفصل الحبيبات عن طريق سرعة ترسيبها (v) خلال مقياس مائي بمعرفة مسافة ترسب الحبيبات (L) خلال فترة من الوقت (t)

$$v = \frac{L}{t} \quad (3.1)$$

ولكن هذا الاختبار يفترض أن حبيبات التربة تأخذ الشكل الكروي حتى يمكن حساب سرعة ترسيبها عن طريق قانون ستوك *Stoke's law* والذي يحمل الصيغة:



شكل (3.2): اختبار الهيدروميتر (Atkins, H. N.- 1983)

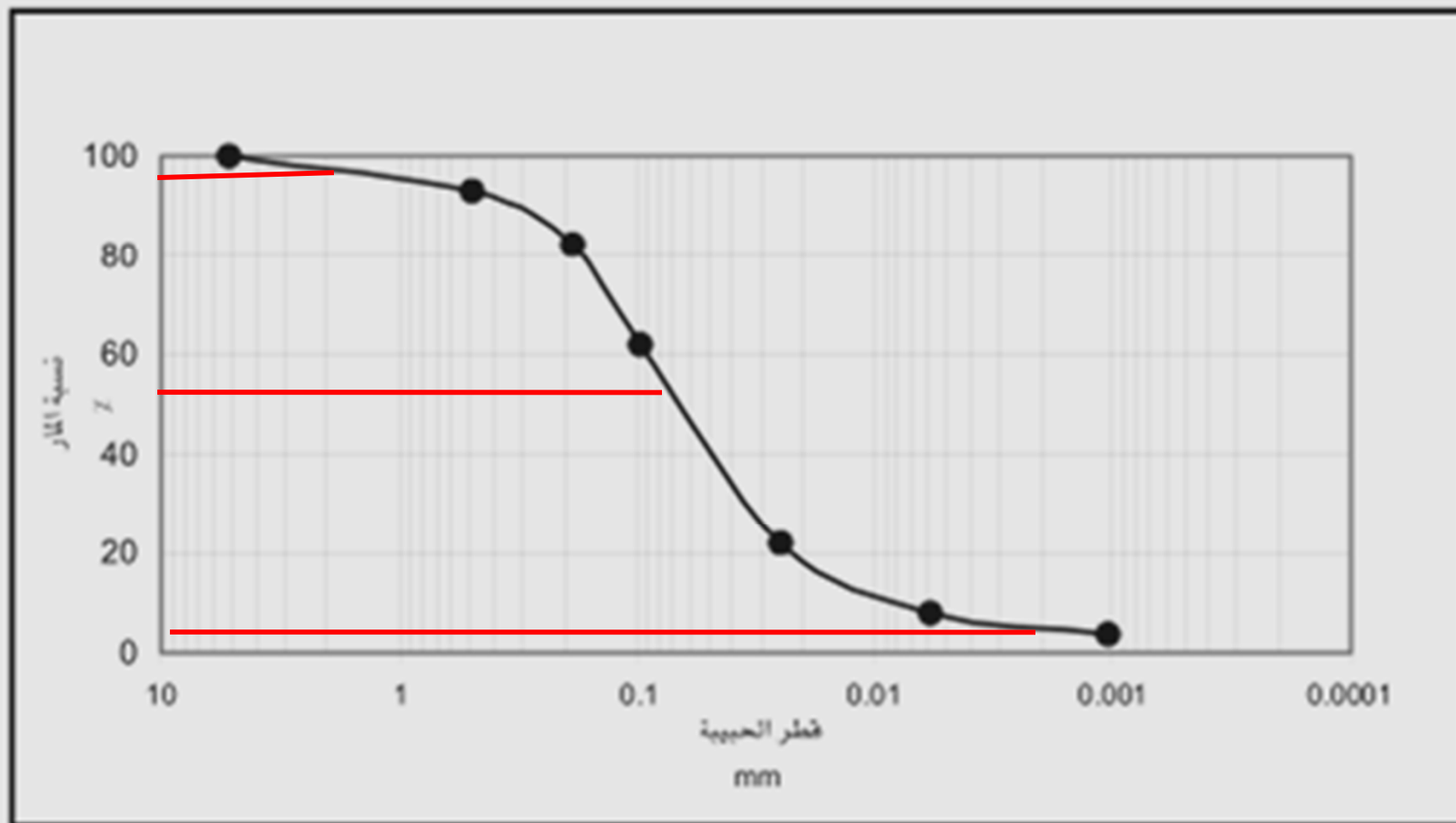
$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.4)$$

و K هو ثابت يعتمد على درجة الحرارة والوزن النوعي لحبيبات التربة ومبيناً في الجدول (٢) والموضح في الجزء العملي من هذه الحقيبة.

٢.٢.٢ منحنى التدرج الحبيبي Particle Size Distribution Curve

يتم الحصول على منحنى التدرج الحبيبي Particle Size Distribution Curve لعينة التربة بعد إجراء اختبائي التحليل المنخلي والتحليل الهيدرومترى ودمج نتائج هذين الاختبارين في منحنى واحد برسم أقطار الحبيبات على مقياس أفقي لوغاريتمي ورسم نسبة المار من كل منخل على مقياس عددي رأسي، كما يوضح الشكل (3.3).

ومن منحنى التدرج الحبيبي يتم الحصول على نسب حبيبات الحصى والرمل والطين والطين. فمثلاً من الشكل (3.3) وحسب تصنيف التربة الوارد في جدول (3.1) يتضح أن هذه التربة تتكون من:



شكل (3.3): عينة لمنحنى التدرج الحبيبي للتربة

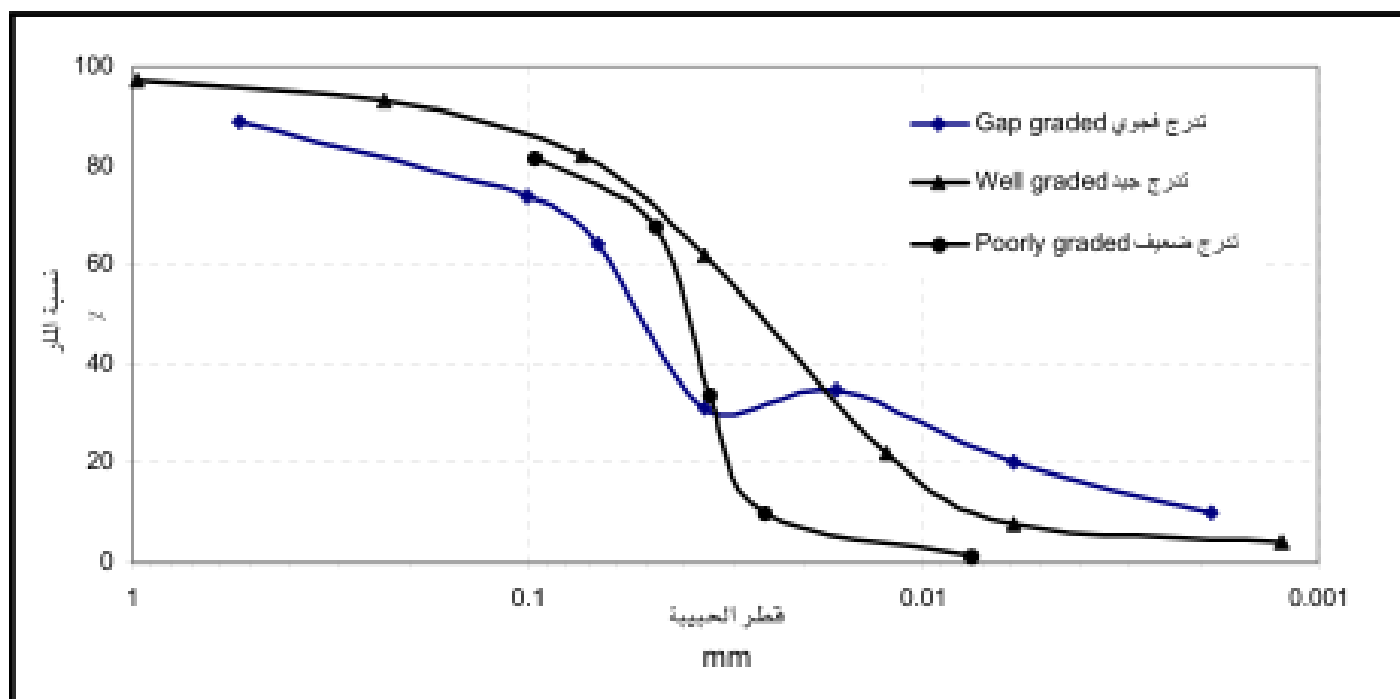
4% = Clay طين

49% = Silt طمي

45% = Sand رمل

2% = Gravel حصي

ويمكن الحكم على طبيعة توزيع حبيبات التربة من خلال منحنى التدرج الحبيبي كما يوضح الشكل (3.4). فقد تحتوي التربة على حبيبات متقاربة الحجم وهذا النوع يسمى بالتربة ضعيفة التدرج poorly graded soil حيث يكون امتداد المنحنى أقرب إلى الوضع الرأسي. أما إذا امتد المنحنى بالشكل الذي تتفاوت فيه أحجام الحبيبات فإن التربة تكون ذات تدرج جيد well graded soil. وتأخذ التربة أحياناً التركيب الذي تظهر فيه حبيباتها بأكثر من تدرج وانتظام، وبالتالي يأخذ منحنى التدرج الشكل غير المنتظم ويطلق على هذا النوع بالتدرج الفجوي gap graded .



شكل (3.4): أنواع منحنيات التدرج الحبيبي حسب درجة انتظامها

ويمكن التعبير عن مستوى التدرج الحبيبي للتربة من خلال ثلاثة معايير هي:

- (١) القطر المؤثر ($D_{10\%}$) **Effective Diameter**: ويعرف بأنه قطر حبيبات التربة المناظر لما نسبته 10 % من نسبة المار من عينة التربة والمبينة بمنحنى التدرج الحبيبي.
- (٢) معامل الانتظام (C_u) **Uniformity Coefficient**: ويتم حسابه من خلال النسبة بين قطر حبيبات التربة المناظر لما نسبته 60 % ($D_{60\%}$) إلى قطر حبيبات التربة المناظر لما نسبته 10 % ($D_{10\%}$) من نسبة المار من عينة التربة الموضحة على منحنى التدرج الحبيبي، ويمثل بالعلاقة:

$$C_u = \frac{D_{60\%}}{D_{10\%}} \quad (3.6)$$

وعندما يكون معامل الانتظام عالياً فإن ذلك يعني أن هناك تفاوتاً بين $D_{10\%}$ و $D_{60\%}$ ، والتربة التي لها معامل انتظام أقل من 2 تعد تربة منتظمة الحبيبات.

٣) معامل التدرج (C_g) Gradation Coefficient: ويدخل في حساب هذا المعامل قطر حبيبات التربة المناظر لما نسبته 30% ($D_{30\%}$) من نسبة المار من عينة التربة الموضحة على منحنى التدرج الحبيبي، ويحدد معامل التدرج بالعلاقة:

$$C_g = \frac{D_{30\%}^2}{D_{10\%} \times D_{60\%}} \quad (3.7)$$

فإذا كان C_g قريباً من 1.0 فإن التربة ذات تدرج جيد ، أما إذا كان أقل أو أعلى من 1.0 بكثير فإن التربة ذات تدرج ضعيف.

مثال (3.1):

عينة من التربة أجري عليها اختبار التحليل المنخلي وأظهر النتائج التالية:

رقم المنخل	وزن التربة المتبقية على كل منخل (جم)
4	96.0
10	84.3
20	70.0
40	54.8
60	32.7
100	16.2
200	6.4
Pan	13.6

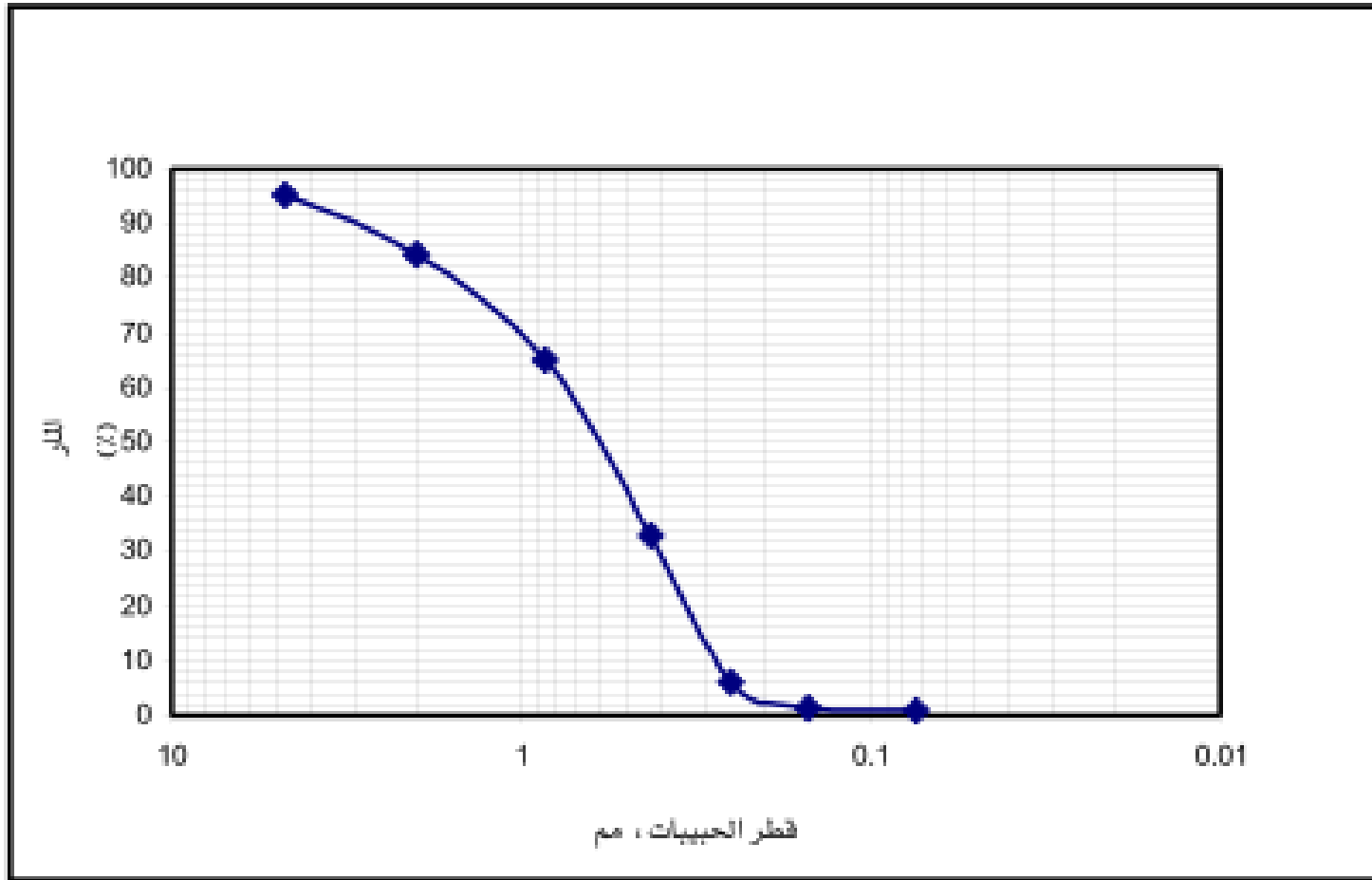
والمطلوب:

- أ- رسم منحنى التدرج الحبيبي.
- ب- تحديد $D_{10\%}$ ، $D_{30\%}$ ، $D_{60\%}$ من منحنى التدرج.
- ج- حساب معامل الانتظام C_u .
- د- حساب معامل التدرج C_c .

الحل:

الجدول التالي يبين تحليل نتائج الاختبار:

رقم المنخل	قطر فتحة المنخل (مم)	وزن التربة المتبقية (جم)
4	4.750	19.7
10	2.000	42.8
20	0.850	76.2
40	0.425	128.5
60	0.250	108.3
100	0.15	12.5
200	0.074	8.4
Pan		3.6
المجموع		400



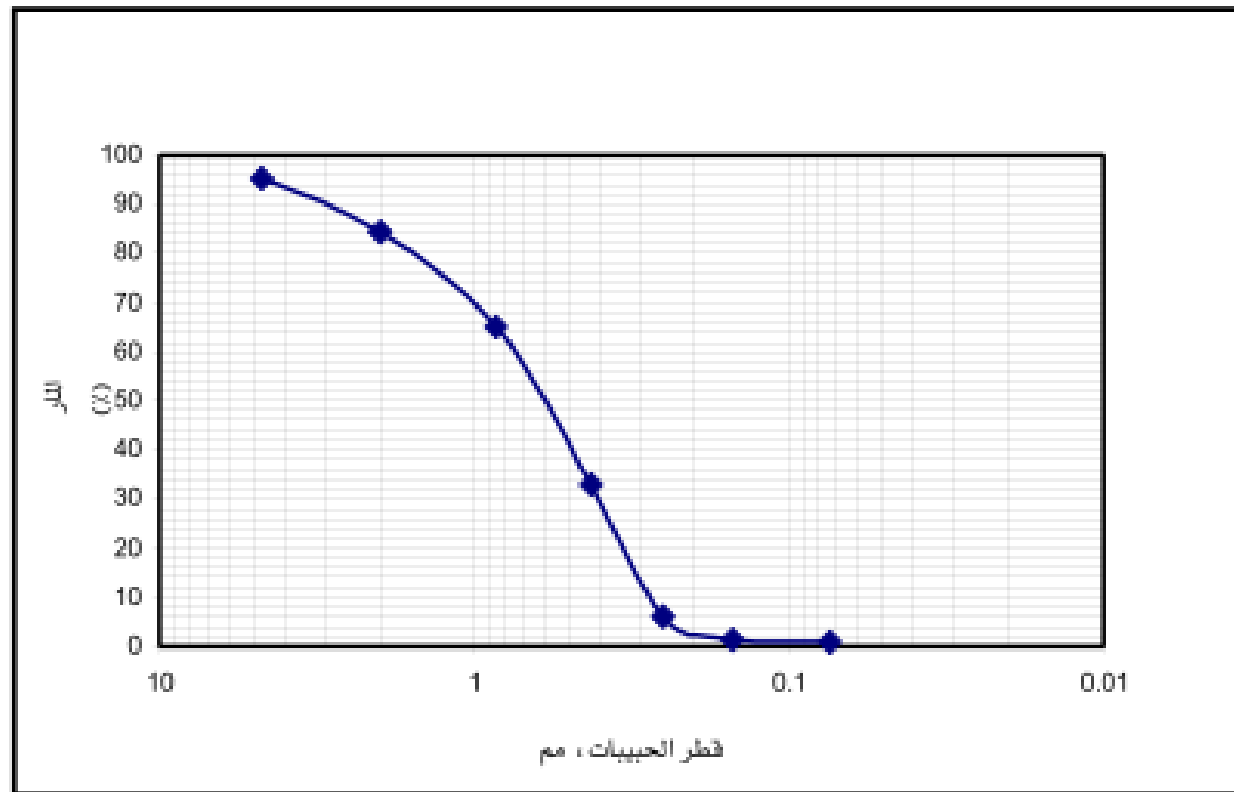
شكل (3.5): منحنى التدرج الحبيبي لنتائج التربة الموضحة في المثال (3.1)

أ- رسم منحنى التدرج لعينة التربة يوضحها الشكل (3.5).

ب- تكون قيم $D_{60\%}$ ، $D_{10\%}$ + $D_{10\%}$ من منحنى التدرج على النحو التالي:

ج- معامل الانتظام C_u :
$$C_u = \frac{D_{60\%}}{D_{10\%}} = \frac{0.74}{0.28} = 2.64$$

د- معامل التدرج C_c :
$$C_c = \frac{D_{30\%}^2}{D_{10\%} \times D_{60\%}} = \frac{(0.40)^2}{0.28 \times 0.74} = 0.77$$



شكل (3.5): منحنى التدرج الحبيبي لنتائج التربة الموضحة في المثال (3.1)

التجربة الرابعة :

التدرج الحبيبي Grain Size Distribution

1- اختبار التحليل المنخلي Sieve Analysis Test

الأدوات المستخدمة :

1. مجموعة من المناخل القياسية
2. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm
3. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
4. فرشاة تنظيف المناخل
5. محقنة

طريقة العمل :

1. زن جميع المناخل المستخدمة بعد التأكد من نظافتها.
2. رتب المناخل من الأعلى إلى الأسفل تبعاً لأقطار فتحاتها.
3. زن حوالي 500 gm كعينة من التربة الممثلة بحيث تكون جافة وأحجام حبيباتها تتناسب مع فتحات المناخل المختارة.
4. ضع التربة على المناخل وابدأ بهزها باليد لمدة نصف الساعة أو باستخدام الهزاز الميكانيكي ولمدة عشر دقائق، ويمكن استخدام الفرشة لإزالة الحبيبات العالقة في المناخل.
5. زن كل منخل مع التربة المتبقية عليه.
6. اطرح أوزان المناخل المحددة في الخطوة (1) من الأوزان المحددة في الخطوة (5) لمعرفة وزن التربة المتبقية على كل منخل.

العمليات الحسابية :

- نسبة المتبقي على كل منخل = (وزن التربة المتبقية على كل منخل ÷ الوزن الإجمالي للتربة) × 100
 - النسبة التراكمية للمتبقي على كل منخل =
- مجموع النسب المتبقية على المناخل التي تسبق ذلك المنخل.
- نسبة التربة المارة من كل منخل = 100% - النسبة التراكمية للتربة المتبقية

التجربة الخامسة:

التدرج الحبيبي Grain Size Distribution

ب - اختبار التحليل الهيدرومترى Hydrometer Analysis Test

الأدوات المستخدمة:

1. هيدرومتر
2. أسطوانة اختبار مدرجة
3. خلط
4. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm
5. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
6. وعاء تجفيف
7. محقنة
8. ساعة توقيت
9. ترمومتر
10. ماء مقطر

طريقة العمل:

1. اخلط حوالي 50 gm من التربة المارة من منخل رقم 200 في تجربة التحليل المنخلي مع ماء مقطر حتى تصبح عجينه ناعمة ورقيقة.
2. ضع العينة في كأس سعتها 250 ml وأضف عليها 125 ml من محلول مثل ميثا فوسفات الصوديوم الذي تركيزه 4%، ثم اترك المزيج يتشرب لمدة لا تقل عن 16 ساعة.
3. انقل المزيج إلى كأس الخلاط بعناية بحيث لا يفقد جزءاً منه، وأضف إليه ماء مقطراً بواسطة المحقنة حتى يصل لأكثر من نصف كأس الخلاط.
4. اخلط المزيج في الخلاط لحوالي 15 دقيقة حتى تنتفت حبيبات التربة إلى جزيئات مستقلة.
5. انقل المزيج إلى أسطوانة الاختبار المدرجة وأضف عليه من الماء المقطر حتى يصل إلى علامة حجم 1000 ml.

٦. ضع راحة يدك بإحكام (أو غطاء محكم) على فتحة الأسطوانة ثم اقلبها إلى أسفل وإلى أعلى لمدة دقيقة، والتأكد من عدم التصاق المزيج بأسفل الأسطوانة، ثم ضعها على طاولة ثابتة وأبدأ في حساب الوقت.
٧. أملأ أسطوانة اختبار مدرجة أخرى بالماء المقطر وذلك لحفظ الهيدروميتر فيه بين القراءات.
٨. بعد مضي دقيقتين أدخل الهيدروميتر بببطء إلى أسطوانة المزيج وسجل قراءة الهيدروميتر لأعلى سطح السائل وكذلك درجة الحرارة باستخدام الترمومتر، مع ملاحظة تخفيف الهيدروميتر قبل استخدامه وإدخاله في أسطوانة الخليط لمدة تتراوح بين 20 و 25 ثانية وذلك في كل مرة.
٩. كرر تسجيل قراءتي الهيدروميتر والترمومتر بعد مضي الأوقات: 5, 15, 30, 60, 250, 1440 دقيقة، وقد تحتاج التجربة إلى وقت أطول حتى تصبح قراءة الهيدروميتر مقاربة للواحد أو عندما يكون تغير القراءة بسيط جداً بعد مضي وقت طويل. وبعد كل قراءة يزال الهيدروميتر من المزيج ويوضع في أسطوانة الاختبار المدرجة والمملوءة بالماء المقطر.
١٠. اجعل فتحة أسطوانة المزيج مغطاة بين القراءات لمنع حالة التبخر وضمان عدم وصول غبار أو خلافة إلى المحلول.
١١. أوزن وعاء التجفيف لأقرب من 0.01 gm .
١٢. بعد آخر قراءة، صب المزيج (المحلول) في وعاء التجفيف وذلك بعناية فائقة لمنع فقدان أي من حبيبات التربة.
١٣. ضع المحلول في الفرن حتى تبخر الماء لتبقى حبيبات التربة في حالتها الجافة، ثم أوزن وعاء التجفيف مع التربة الجافة لأقرب 0.01 gm .
١٤. احسب وزن التربة الجافة من الخطوتين (١١) و(١٣).

مليات الحسابية:

حساب القطر المؤثر لحبيبات التربة من العلاقة:

$$D = \sqrt{\frac{30n}{980} (G_s - G_r) \frac{L}{T}}$$

$$= K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

حيث:

$D =$ قطر جزيئات التربة (mm)

$n =$ معامل لزوجة الماء عند درجة حرارة الاختبار (poises)

$G_s =$ الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة

$G_r =$ الوزن النوعي للماء عند درجة حرارة الاختبار، انظر جدول رقم (1).

$T =$ الفترة الزمنية من بداية ترسب الجزيئات حتى أخذ القراءة (min)

$K =$ ثابت يعتمد على درجة حرارة المحلول وعلى الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة، انظر جدول رقم (2).

$L =$ المسافة من سطح المحلول إلى المستوى الذي تقاس عنده كثافة العينة، انظر جدول رقم (3).

(ب) حساب نسبة التربة الناعمة من العلاقة:

$$N = \left[\frac{G_s}{G_r - 1} \times \frac{100000}{w_s} \right] (R - G_r)$$

حيث:

$N =$ نسبة التربة الناعمة (%)

$G_s =$ الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة

$G_r =$ الوزن النوعي للماء عند درجة حرارة الاختبار، انظر جدول رقم (1).

$w_s =$ وزن التربة الجافة

$R =$ قراءة الهيدروميتر

جدول (١): الوزن النوعي للماء حسب درجة الحرارة

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0.9999	0.9997	0.9982	0.9957	0.9922	0.9881	0.9832	0.9778	0.9718	0.9653
1	0.9999	0.9996	0.9980	0.9954	0.9919	0.9876	0.9827	0.9772	0.9712	0.9647
2	1.000	0.9995	0.9978	0.9951	0.9915	0.9872	0.9822	0.9767	0.9706	0.9640
3	1.000	0.9994	0.9976	0.9947	0.9911	0.9867	0.9817	0.9761	0.9699	0.9633
4	1.000	0.9993	0.9973	0.9944	0.9907	0.9862	0.9811	0.9755	0.9693	0.9626
5	1.000	0.9991	0.9971	0.9941	0.9902	0.9857	0.9806	0.9749	0.9686	0.9619
6	1.000	0.9990	0.9968	0.9937	0.9808	0.9852	0.9800	0.9743	0.9680	0.9612
7	0.9999	0.9988	0.9965	0.9934	0.9894	0.9848	0.9795	0.9737	0.9673	.9605
8	0.9999	0.9986	0.9963	0.9930	0.9890	0.9842	0.9789	0.9731	0.9667	0.9598
9	0.9998	0.9984	0.9960	0.9926	0.9885	0.9838	0.9784	0.9724	0.9660	0.9591

جدول (٢): قيم الثابت K لحساب قطر حبيبات التربة في التحليل الهيدرومترى

درجة الحرارة (°C)	(G_s) الوزن النوعي لحبيبات التربة								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

جدول (٢): قيم العمق المؤثر حسب نوع الهيدروميتر

هيدروميتر 151H		هيدروميتر 152H			
عمق الهيدروميتر الفعلي	العمق المؤثر L, cm	قراءة الهيدروميتر الفعلية	العمق المؤثر L, cm	قراءة الهيدروميتر الفعلية	العمق المؤثر L, cm
1.000	16.3	0	16.3	39	9.9
1.001	16.0	1	16.1	40	9.7
1.002	15.8	2	16.0	41	9.6
1.003	15.5	3	15.8	42	9.4
1.004	15.2	4	15.6	43	9.2
1.005	15.0	5	15.5	44	9.1
1.006	14.7	6	15.3	45	8.9
1.007	14.4	7	15.2	46	8.8
1.008	14.2	8	15.0	47	8.6
1.009	13.9	9	14.8	48	8.4
1.010	13.7	10	14.7	49	8.3
1.011	13.4	11	14.5	50	8.1
1.012	13.1	12	14.3	51	7.9
1.013	12.9	13	14.2	52	7.8
1.014	12.6	14	14.0	53	7.6
1.015	12.3	15	13.8	54	7.4
1.016	12.1	16	13.7	55	7.3
1.017	11.8	17	13.5	56	7.1
1.018	11.5	18	13.3	57	7.0
1.019	11.3	19	13.2	58	6.8
1.020	11.0	20	13.0	59	6.6
1.021	10.7	21	12.9	60	6.5
1.022	10.5	22	12.7		
1.023	10.2	23	12.5		
1.024	10.0	24	12.4		
1.025	9.7	25	12.2		
1.026	9.4	26	12.0		
1.027	9.2	27	11.9		
1.028	8.9	28	11.7		
1.029	8.6	29	11.5		
1.030	8.4	30	11.4		
1.031	8.1	31	11.2		
1.032	7.8	32	11.1		
1.033	7.6	33	10.9		
1.034	7.3	34	10.7		
1.035	7.0	35	10.6		
1.036	6.8	36	10.4		

الاسبوع الثالث
قوام التربة Soil Consistency
اعداد
ميساء سالم
مدرس مساعد

2.3 قوام التربة Soil Consistency

يعتمد قوام التربة ومدى تماسك وارتباط حبيباتها على نسبة المحتوى المائي بها، فكلما زادت نسبة المحتوى المائي بها قل قوامها وضعف تحملها وتباعدت حبيباتها المتجاورة وأصبحت تميل إلى الحالة السائلة. والتربة المتماسكة cohesive soil مثل الطمي والطين والتي لها حبيبات ناعمة توصف باللدنة، وبحسب محتواها المائي فإنها تقع في أحد الحالات الأربع التالية:

(1) الحالة الصلبة Solid State

(2) الحالة شبه الصلبة Semisolid State

(3) الحالة اللدنة Plastic State

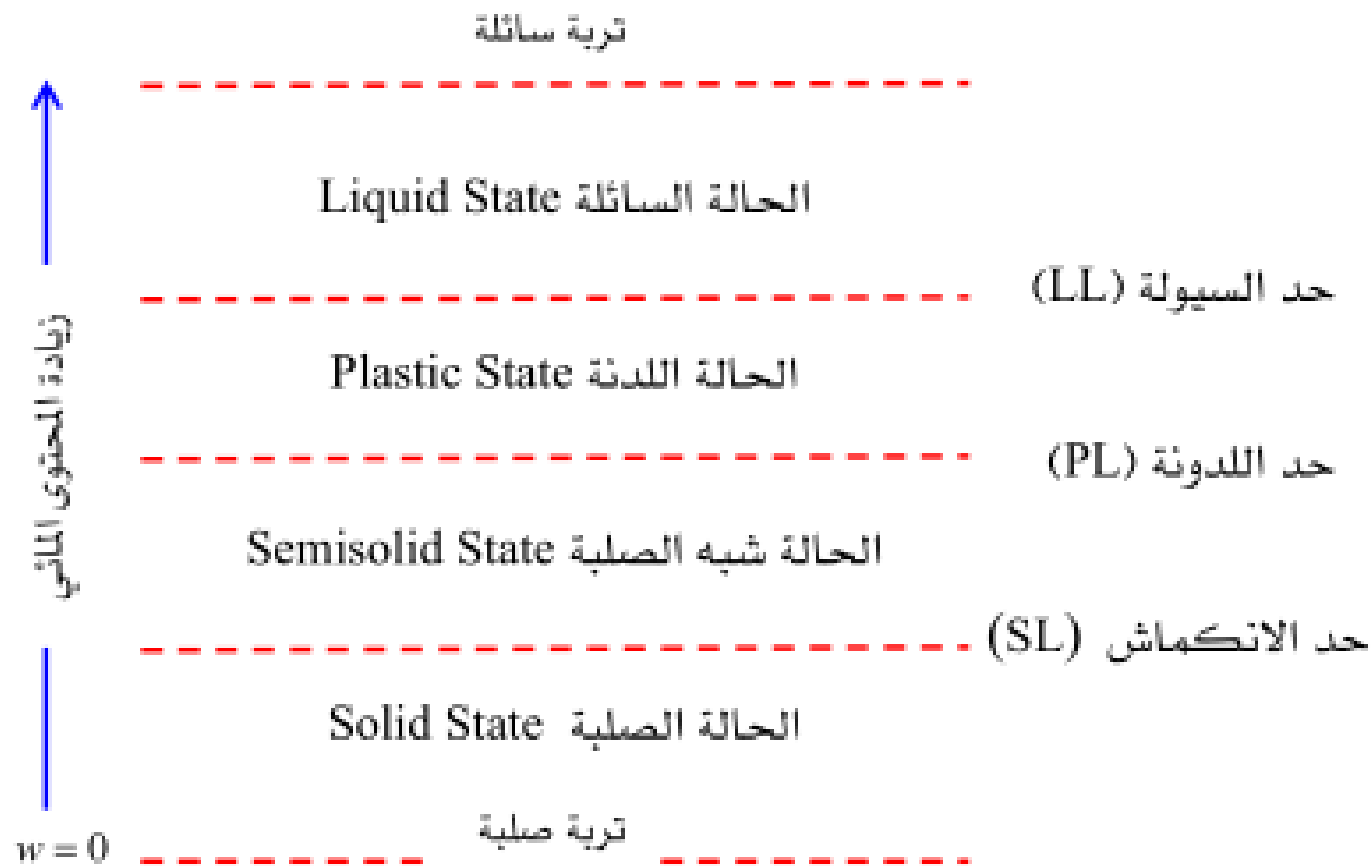
(4) الحالة السائلة Liquid State

وتعرف المحتويات المائية التي تتحول عندها التربة من حالة إلى حالة أخرى مجاورة بحدود أتبرج

Atterberg Limits، وهو باحث سويدي قدم هذه الحدود وعرفها كما يلي:

- Liquid Limit (LL) حد السيولة
- Plastic Limit (PL) حد اللدونة
- Shrinkage Limit (SL) حد الانكماش

وتعدّ حدود أتريج من المعايير الرئيسية المستخدمة في تصنيف وتحديد خواص التربة المتماسكة، والشكل (2.2) يوضح حالات التربة الأربع وحدود القوام بينها.

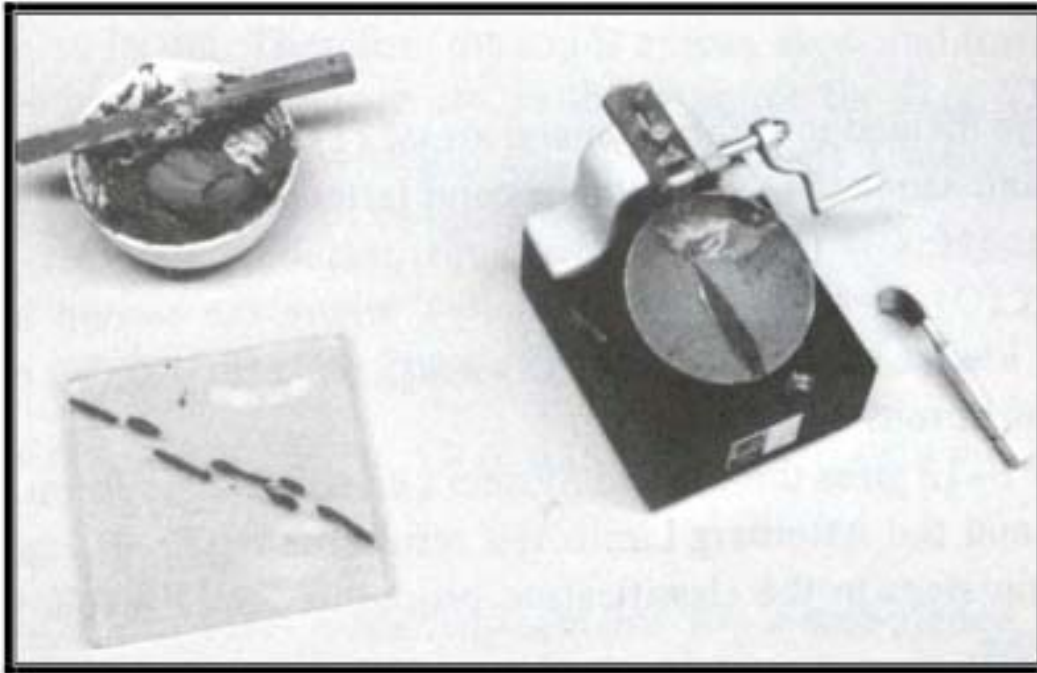


شكل (2.2): حالات التربة مع حدود القوام

حد السيولة (Liquid Limit (LL):

يعرف حد السيولة بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة السائلة إلى الحالة اللدنة. والتربة التي لها حد سيولة عالي تدل على احتوائها على كميات طين عالية وبالتالي تكون قوة تحملها للقض ضئيلة وتتصرف كما لو أنها سائل لزج.

وعملياً فإن حد السيولة هو المحتوى المائي الذي تقفل عنده العلامة المحددة على جهاز كازاجراندي Casagrande بعد 25 ضربة، وموضح ذلك الجهاز في الشكل (2.3). وسوف يتم التطرق إلى تجربة حدود أتيرج في الجانب العملي من هذه الحقبة التدريبية.



شكل (2.3): أجهزة تحديد حدي السيولة واللدونة

حد اللدونة (PL) Plastic Limit :

يعرف حد اللدونة بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة اللدنة إلى الحالة شبه الصلبة. وإذا وقع المحتوى المائي للتربة بين حد اللدونة والمحتوى المائي الطبيعي لها فإن التربة تكون لدنة. وعملياً فإن حد اللدونة هو المحتوى المائي عندما يبدأ خيط من التربة قطره 3mm في التشقق والتفتت بعد دحرجته على لوح زجاجي مخصص لهذا الغرض، كما يوضحه الشكل (2.3). والتربة التي لا تتدحرج ولا تصل إلى هذا الخيط الرفيع من التشكيل تعد تربة غير لدنة.

حد الانكماش (Shrinkage Limit (SL):

يعرف حد الانكماش بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة شبه الصلبة إلى الحالة الصلبة. أو هو المحتوى المائي الناتج بعد إضافة أقل كمية من الماء لملاء فراغات التربة الجافة. فكلما كان حد الانكماش قليلاً كلما أثر ذلك على التغيرات الحجمية للتربة.

ويعرف الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة بعلامة أو مؤشر اللدونة (Plasticity Index (PI والذي يوضح من خلال العلاقة:

$$PI = LL - PL \quad (2.20)$$

والتربة التي لها مؤشر لدونة عالٍ تعد تربة ذات خواص أفضل من تلك التي مؤشر لدونتها منخفض.

كما يمكن تحديد مؤشر أو علامة السيولة (LI) للتربة المتماسكة من العلاقة:

$$LI = \frac{w - PL}{PI} \quad (2.21)$$

حيث w المحتوى المائي للتربة في الموقع، والتربة التي لها مؤشر السيولة أقل من واحد تعد تربة طينية حساسة sensitive clay قابلة للانهبان.

مثال (2.5):

عينة من التربة أظهرت اختبارات المعملية النتائج التالية: المحتوى المائي الطبيعي $w = 43.8\%$ ، حد السيولة $LL = 48.3\%$ ، علامة اللدونة $PI = 21.7\%$ ، فأوجد حد السيولة وعلامة السيولة لهذه التربة.

الحل:

باستخدام العلاقة (2.20) يمكن تحديد حد اللدونة:

$$PI = LL - PL$$

$$21.7 = 48.3 - PL$$

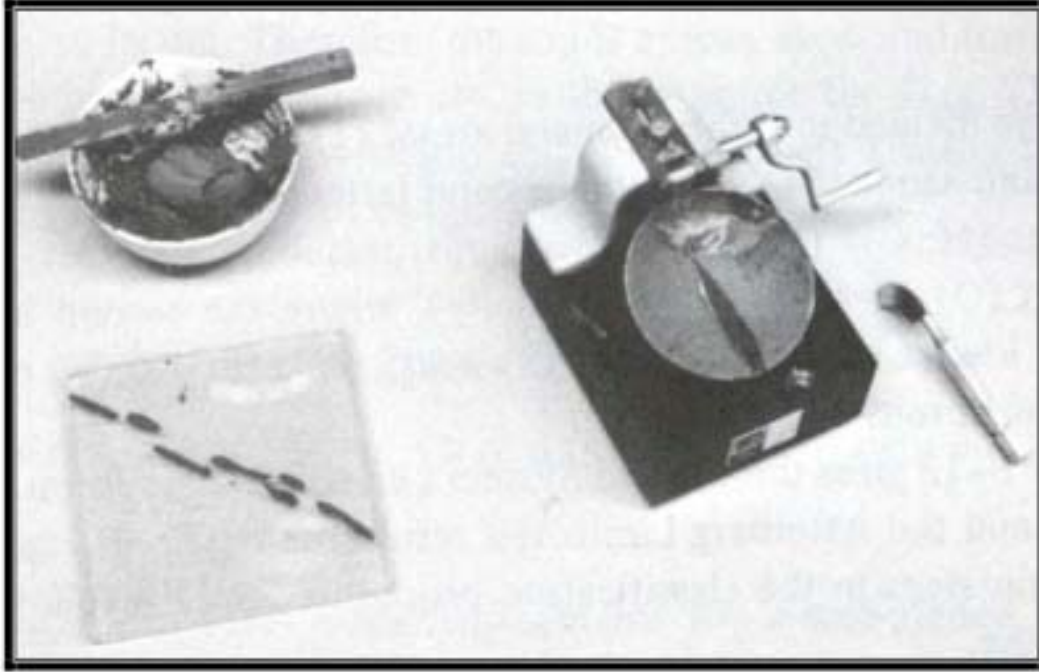
$$PL = 26.6\%$$

أما علامة السيولة فتوجد باستخدام المعادلة (2.21):

$$\begin{aligned} LI &= \frac{w - PL}{PI} \\ &= \frac{43.8 - 26.6}{21.7} = 0.79 \end{aligned}$$

التجربة الثانية:

اختبار حد السيولة Liquid Limit Test



الأدوات المستخدمة:

1. جهاز كازاجراندي Cassagrande مع أداة القطع التابعة له.
2. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.01 gm
3. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
4. علبة صفيح أو ألومنيوم
5. ملقاط أو أداة واقية للحرارة
6. منخل رقم 40
7. ماء مقطر
8. سكينه خلط

طريقة العمل:

شكل (2.3): أجهزة تحديد حدى السيولة واللدونة

جدول (3.2): فتحات مناخل التحليل الميكانيكي

رقم المنخل SIEVE NO.	فتحة المنخل OPENING (MM)
4	4.750
10	2.000
20	0.850
40	0.425
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
200	0.074

1. تأكد من معايرة جهاز كازاجراندي وتصحيحه إذا لزم لتكون مسافة سقوط الجهاز 1 cm.
2. زن أربع علب بعد معرفة تصنيفها لتحديد المحتوى المائي.
3. خذ حوالي 100-150 gm من التربة بعد مرورها من منخل رقم 40 وأخلطها مع الماء المقطر حتى تشكل عجينة ذات قوام منتظم. ضع جزء من التربة المخلوطة في الوعاء الخاص بجهاز كازاجراندي وأعمل لسطحها تعميم بحيث تكون على سمك نصف البوصة، ثم ارسم بأداة القطع مجرى محوري على طول العينة على أن تكون أداة القطع عمودية على الوعاء. ابدأ بتشغيل جهاز كازاجراندي بمعدل دورتين في الثانية، واحسب عدد الضربات اللازمة لإقفال المجرى بمسافة نصف بوصة في أسفل الوعاء. خذ جزء من عينة التربة من قرب المجرى وحدد وزنها وضعها في الفرن لتحديد محتواها المائي.
4. أعد خلط عينة التربة التي في الوعاء وبمحتوى مائي مختلف، وكرر خطوات التجربة من 4 إلى 6، حيث يتم تحديد المحتوى المائي لأربع عينات تربة وبعدها ضربات يتراوح بين العشرة والأربعين. ويفضل أن تبدأ بتربة جافة ويتم زيادة الماء عليها في كل مرة.

٥. ارسم العلاقة بين المحتوى المائي ولوغاريثم عدد الضربات وبمتوسط أربع نقاط، وبالتالي فإن حد السيولة هو المحتوى المائي المناظر لعدد ٢٥ ضربة.

العمليات الحسابية :

يحسب المحتوى المائي في كل مرة بإيجاد النسبة بين وزن الماء الموجود في العينة ووزن المواد الصلبة للعينة وذلك من العلاقة:

$$w(\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

حيث:

$$W_1 = \text{وزن الوعاء فارغاً}$$

$$W_2 = \text{وزن الوعاء} + \text{وزن التربة الرطبة}$$

$$W_3 = \text{وزن الوعاء} + \text{وزن التربة الجافة}$$

MISSOURI
S&T

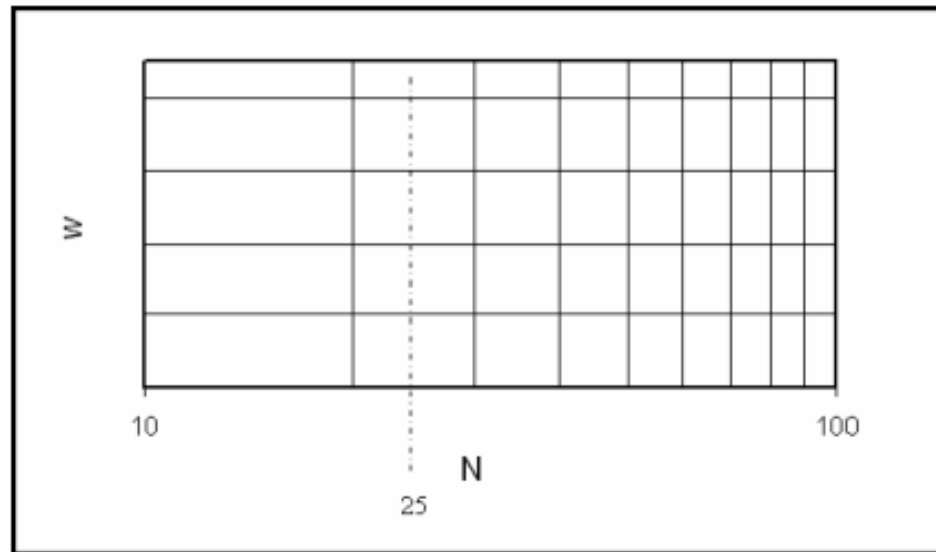
University of
Science & Technology

اختبار حد السيولة

المشروع:..... رقم العملية:.....
موقع المشروع:..... رقم الجسة:..... رقم العينة:.....
وصف التربة:.....
عمق العينة:..... اسم الفاحص:..... التاريخ:.....

جدول تحديد حد السيولة

رقم الوعاء					
وزن الوعاء + التربة الرطبة (جم)					
وزن الوعاء + التربة الجافة (جم)					
وزن الوعاء (جم)					
وزن التربة الجافة (جم)					
وزن التربة الرطبة (جم)					
المحتوى المائي (%)					
عدد الضربات (N)					



التجربة الثالثة:

اختبار حد اللدونة Plastic Limit Test

الأدوات المستخدمة:

١. لوح زجاجي أو بلاستيك
٢. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.01 gm
٣. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
٤. علبة صفيح أو ألمنيوم
٥. ملقاط أو أداة واقية للحرارة
٦. منخل رقم 40
٧. ماء مقطر
٨. سكينه خلط

طريقة العمل:

١. اخلط حوالي 15 gm من التربة بعد مرورها من منخل رقم 40 واخلطها مع الماء المقطر حتى تشكل عجينه ذات قوام منتظم.
٢. شكل عينة التربة على هيئة خيط وابدأ في دحرجتها باليد على اللوح الزجاجي (البلاستيك) حتى يصبح قطرها حوالي $\frac{1}{8}$ ($\approx 3 mm$) البوصة دون أن ينقطع.
٣. خذ جزء من عينة التربة المدحرجة وحدد وزنها وضعها في الفرن لتحديد محتواها المائي.
٤. كرر الخطوات ٢ و ٣ وبمحتويات ماء مختلفة.

العمليات الحسابية:

- يتم عمل التجربة ثلاث مرات ويؤخذ المتوسط لتحديد حد اللدونة.
$$PL = \frac{PL_1 + PL_2 + PL_3}{3}$$
- معملياً، تعد التربة عديمة اللدونة عندما يكون حد اللدونة أكبر من أو مستويًا لحد السيولة، أو عندما يصعب تحديد حدي السيولة واللدونة.

اختبار حد اللدونة

المشروع:.....
رقم العملية:.....
موقع المشروع:..... رقم الجسة:..... رقم العينة:.....
وصف التربة:.....
عمق العينة:..... اسم الفاحص:..... التاريخ:.....

جدول حسابات حد اللدونة

رقم الوعاء		
وزن الوعاء + التربة الرطبة (جم)		
وزن الوعاء + التربة الجافة (جم)		
وزن الوعاء (جم)		
وزن التربة الجافة (جم)		
وزن التربة الرطبة (جم)		
المحتوى المائي (%) PL		

الاسبوع الخامس
تصنيف التربة بنظام التوحيد القياسي
**Unified soil classification
system**

اعداد
ميساء سالم
مدرس مساعد

٣.١ تصنيف التربة بنظام التوحيد القياسي Unified Soil Classification System

تعتمد هذه الطريقة بالدرجة الأولى على التوزيع الحبيبي للتربة ونتائج التحليل الميكانيكي لها. وبحسب نسبة حبيبات التربة المارة من منخل رقم 200 فإن نظام التصنيف هذا يوزع التربة إلى مجموعتين رئيسيتين:

١. مجموعة التربة الخشنة وتشمل الحصى والرمل وذلك عندما تكون نسبة المار من منخل رقم 200 أقل من 50 %، وتأخذ الرمز **G** للتربة الحصوية عندما يكون أعلى من نصف التربة الخشنة لا يمر من منخل رقم 4، وتأخذ الرمز **S** للتربة الرملية عندما يقع نصف التربة الخشنة بين منخل رقم 4 ومنخل رقم 200.

٢. مجموعة التربة الناعمة وتشمل الطمي والطين بشقيها العضوي وغير العضوي والتربة الفحمية وذلك عندما تكون نسبة المار من منخل رقم 200 أكثر من 50%، وتأخذ الرموز:

M: طمي (Silt) - غير عضوية

C: طين (Clay) - غير عضوية

O: طمي وطين عضوي (Organic silt and clay)

Pt: فحم (Peat) - درجة العضوية عالية

وتوصف التربة، في الغالب، حسب هذا التصنيف برمزين: الأول يمثل نوع التربة الرئيسي، أما الرمز الثاني فيوضح تدرج التربة أو المكون الثانوي لها أو حالتها، فمثلاً:

GW = ركام جيد التدرج

SP = رمل ضعيف التدرج

CH = طين عضوي عالي اللدونة.

جدول (3.3): نظام التوحيد القياسي لتصنيف التربة

Unified Soil Classification System (ASTM designation D-2487)				
Major Division	Group Symbols	Typical Names	Classification Criteria	
Coarse-grained soils More than 50% retained on 75 μm (No. 200) sieve	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on 4.75 mm (No. 4) sieve	Clean gravels	GW Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Greater than 4 $C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3 Not meeting both criteria for GW Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4 Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7
		GP Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines		
		Gravels with fines	GM Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	
		GC Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures		
	Sands More than 50% of coarse fraction passes 4.75 mm (No. 4) sieve	Clean sands	SW Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Greater than 6 $C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3 Not meeting both criteria for SW Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4 Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7
		SP Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines		
		Sands with fines	SM Silty sands, sand-silt mixtures	
		SC Clayey sands, sand-clay mixtures		
Classification on basis of percentage of fines Less than 5% pass 75 μm sieve More than 12% pass 75 μm sieve 5% to 12% pass 75 μm sieve			GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Borderline classification requiring use of dual symbols	

يتبع جدول (3.3): نظام التوحيد القياسي لتصنيف التربة

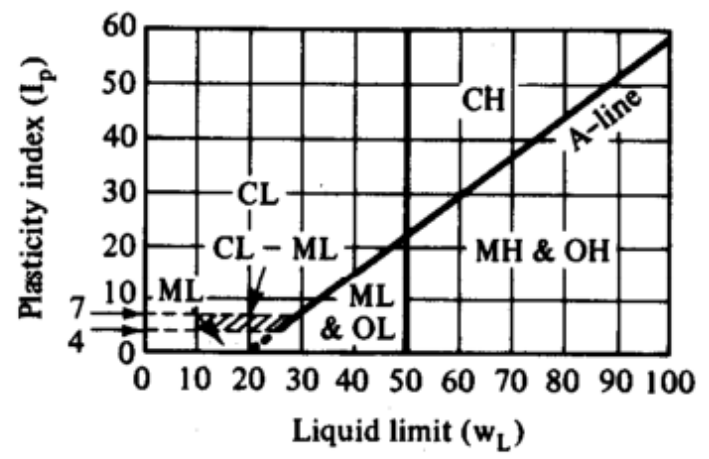
اسم المجموعة	رمز المجموعة	التقسيمات الرئيسية		
حصى جيدة التدرج (خسنة إلى ناعمة)	GW	حصى نظيفة (نقية) > 5% أصغر من منخل #200	حصى	تربة خسنة الحبيبات أكثر من 50% متبقي على أو فوق منخل #200 (0.74 ملم)
حصى سبئية التدرج	GP		< 50% من الأجزاء الخسنة متبقية على منخل #4 (4.75 ملم)	
حصى غرينية (طميّة)	GM	حصى		
حصى طينيّة	GC	بوجود < 12% من الناعم		
رمل جيّد التدرج (خسّن إلى ناعم)	SW	رمل نظيف (نقيّ)	رمل	
رمل سيء التدرج	SP			
رمل غرينيّ (طميّ)	SM	رمل	<= 50% من الأجزاء الخسنة تمر من منخل #4 (4.75 ملم)	
رمل طينيّ	SC	بوجود < 12% من الناعم		
الغرين (الطمي)	ML	غير عضوي	الطمي والطين	تربة ناعمة الحبيبات 50% أو أكثر ماّر من منخل #200 (0.74 ملم)
طين منخفض اللدونة (طين فقير)	CL		حد الميوعة (السيولة) > 50	
غرين عضوي، طين عضوي	OL	عضوي		
غرين عالي اللدونة (غرين مرن)	MH	غير عضوي	الطمي والطين	
طين عالي اللدونة (طين غنيّ)	CH		حد الميوعة (السيولة) <= 50	
طين عضوي، غرين عضوي	OH	عضوي		
الخُتّ	Pt			

Fine-grained soils .50% or more passes 75 μm (No. 200) sieve	Silts and Clays Liquid limit 50% or less	ML Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands <hr/> CL Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays <hr/> OL Organic silts and organic silty clays of low plasticity
	Silts and Clays Liquid limit greater than 50%	MH Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts <hr/> CH Inorganic clays of high plasticity, fat clays <hr/> OH Organic clays of medium to high plasticity

Highly organic soils

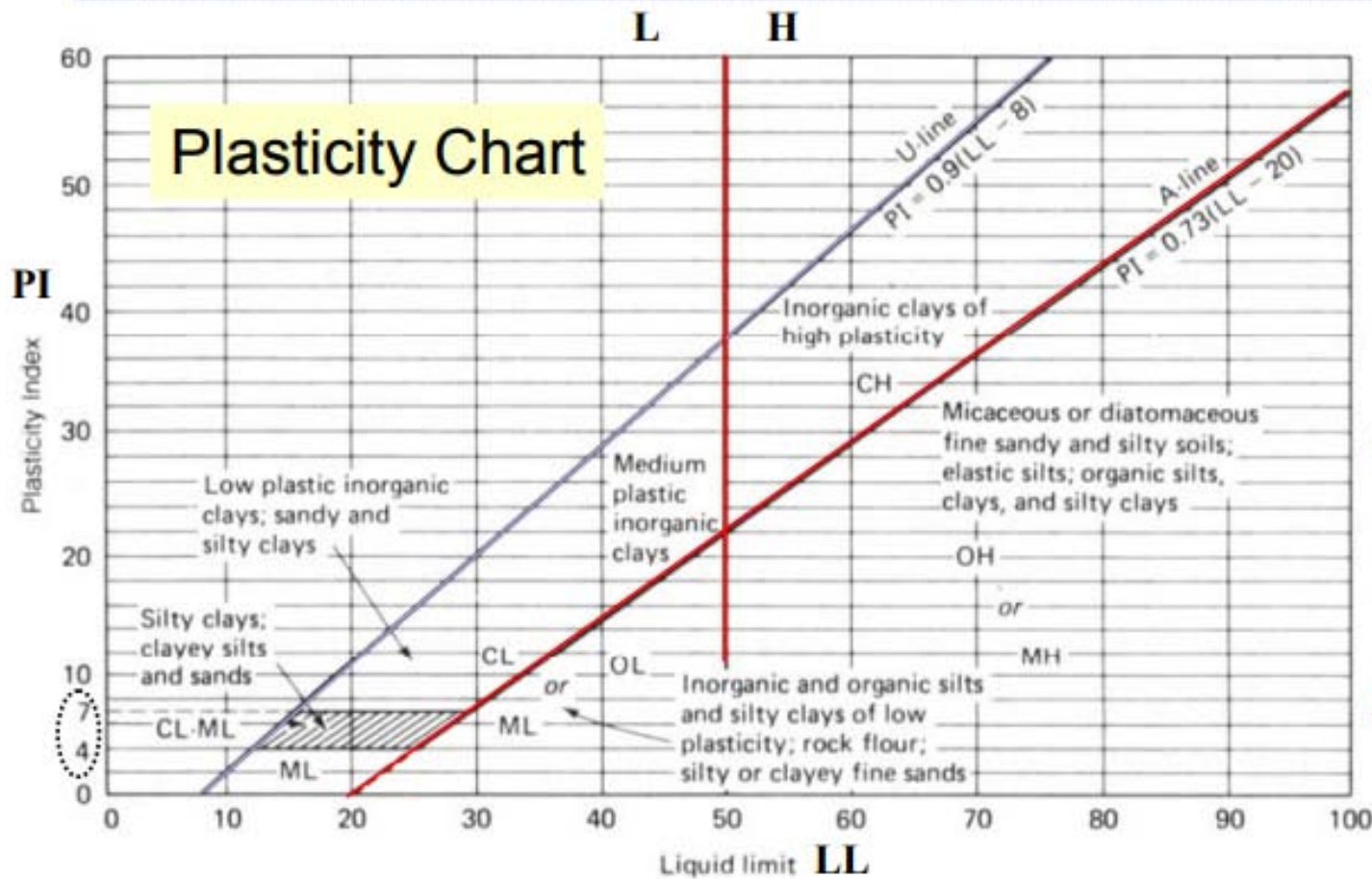
Pt Peat, muck and other highly organic soils

Fibrous organic matter: will char, burn, or glow



Plasticity chart for the classification of fine-grained soils.

Classification of fine-grained soils

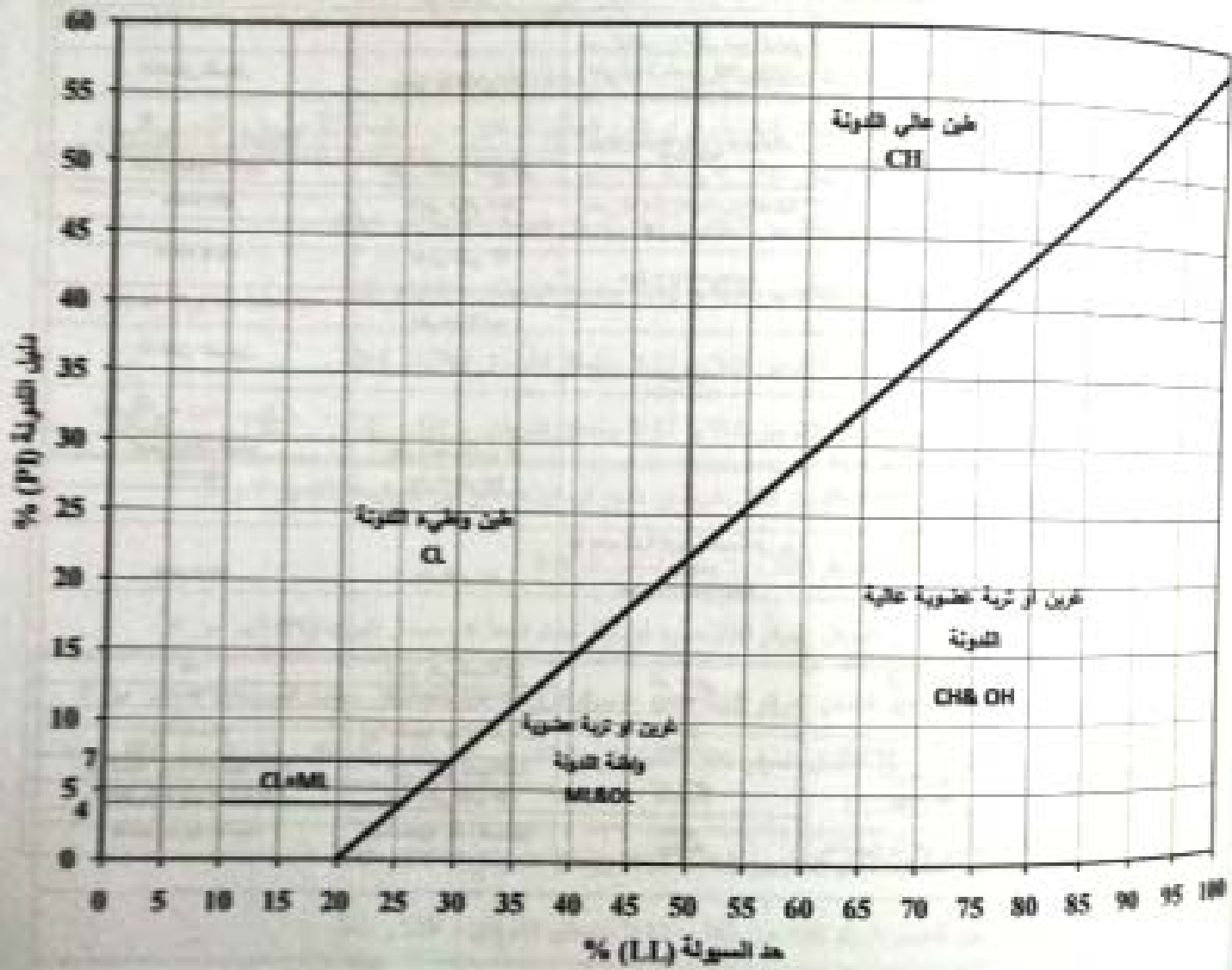


- The A-line generally separates the more claylike materials from silty materials, and the organics from the inorganics.
- The U-line indicates the upper bound for general soils.

Note: If the measured limits of soils are on the left of U-line, they should be rechecked.

Fig. 3.2 Casagrande's plasticity chart, showing several representative soil types (developed from Casagrande, 1948, and Howard, 1977).

(Holtz and Kovacs, 1981)



الخط A

الشكل (3-9) : مخطط اللدونة (PI) بحسب كزراكراندي

مثال (3.2):

باستخدام نظام التوحيد القياسي للتربة، ما هو تصنيف التربة التي لها النتائج التالية:

- نسبة المار من المنخل رقم 4 = 70 %
- نسبة المار من المنخل رقم 200 = 38 %
- حد السيولة (LL) = 42 %
- حد اللدونة (PL) = 22 %

الحل:

من الجدول (3.2):

- حيث نسبة المار من منخل رقم 200 أقل من 50 %، فالتربة إما أن تكون حصوية أو رملية.
- حيث نسبة المار من منخل رقم 4 أكثر من 50 %، فالتربة تكون رملية S .
- من الشكل الموضح بالجدول (3.2)، وعند حد السيولة 42% ومؤشر اللدونة 20%، فإن التربة تقع فوق الخط A أي في منطقة الطين (C) وبمؤشر لدونة أعلى من 7. ويلاحظ أن التربة إذا وقعت تحت الخط A فإنها تعتبر طمي (M) كما يبين الشكل أدناه.
- إذن فالتربة تصنف على أنها SC ، أي إنها تربة تحتوي على خليط من الرمل والطين.

مثال (3.3):

باستخدام نظام التوحيد القياسي، ما هو تصنيف التربة الموضحة بياناتها في الجدول أدناه؟

نسبة المار من التربة (%)	رقم المنخل
٣٠	٤
١٥	٢٠٠
٧	C_u
١.٤	C_c

الحل:

من الجدول رقم (٣.٣):

- حيث نسبة المار من منخل رقم 200 أقل من 50 %، فالتربة إما حصوية أو رملية.
- حيث نسبة المار من منخل رقم 4 أقل من 50 %، فالتربة حصوية G.
- حيث قيمة C_u أعلى من ٤ و C_c تتراوح بين ١ و ٣.
- إذن فإن تصنيف التربة هو GW، أي إنها تربة ركامية جيدة التدرج وقد تحتوي على نسبة بسيطة من المواد الناعمة.

التجربة الخامسة:

التدرج الحبيبي Grain Size Distribution

ب - اختبار التحليل الهيدرومترى Hydrometer Analysis Test

الأدوات المستخدمة:

1. هيدرومتر
2. أسطوانات اختبار مدرجة
3. خلط
4. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm
5. فرن تجفيف بدرجة حرارة $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
6. وعاء تجفيف
7. محقنة
8. ساعة توقيت
9. ترمومتر
10. ماء مقطر

طريقة العمل:

1. اخلط حوالي 50 gm من التربة المارة من منخل رقم 200 في تجربة التحليل المنخلي مع ماء مقطر حتى تصبح عجينه ناعمة ورقيقة.
2. ضع العينة في كأس سعتها 250 ml وأضف عليها 125 ml من محلول مثل ميثا فوسفات الصوديوم الذي تركيزه 4%، ثم اترك المزيج يتشرب لمدة لا تقل عن 16 ساعة.
3. انقل المزيج إلى كأس الخلاط بعناية بحيث لا يفقد جزءاً منه، وأضف إليه ماء مقطراً بواسطة المحقنة حتى يصل لأكثر من نصف كأس الخلاط.
4. اخلط المزيج في الخلاط لحوالي 15 دقيقة حتى تنتفت حبيبات التربة إلى جزيئات مستقلة.
5. انقل المزيج إلى أسطوانة الاختبار المدرجة وأضف عليه من الماء المقطر حتى يصل إلى علامة حجم 1000 ml.

٦. ضع راحة يدك بإحكام (أو غطاء محكم) على فتحة الأسطوانة ثم اقلبها إلى أسفل وإلى أعلى لمدة دقيقة، والتأكد من عدم التصاق المزيج بأسفل الأسطوانة، ثم ضعها على طاولة ثابتة وأبدأ في حساب الوقت.
٧. أملأ أسطوانة اختبار مدرجة أخرى بالماء المقطر وذلك لحفظ الهيدروميتر فيه بين القراءات.
٨. بعد مضي دقيقتين أدخل الهيدروميتر ببطء إلى أسطوانة المزيج وسجل قراءة الهيدروميتر لأعلى سطح السائل وكذلك درجة الحرارة باستخدام الترمومتر، مع ملاحظة تخفيف الهيدروميتر قبل استخدامه وإدخاله في أسطوانة الخليط لمدة تتراوح بين 20 و 25 ثانية وذلك في كل مرة.
٩. كرر تسجيل قراءتي الهيدروميتر والترمومتر بعد مضي الأوقات: 5, 15, 30, 60, 250, 1440 دقيقة، وقد تحتاج التجربة إلى وقت أطول حتى تصبح قراءة الهيدروميتر مقاربة للواحد أو عندما يكون تغير القراءة بسيط جداً بعد مضي وقت طويل. وبعد كل قراءة يزال الهيدروميتر من المزيج ويوضع في أسطوانة الاختبار المدرجة والمملوءة بالماء المقطر.
١٠. اجعل فتحة أسطوانة المزيج مغطاة بين القراءات لمنع حالة التبخر وضمان عدم وصول غبار أو خلافة إلى المحلول.
١١. أوزن وعاء التجفيف لأقرب من 0.01 gm .
١٢. بعد آخر قراءة، صب المزيج (المحلول) في وعاء التجفيف وذلك بعناية فائقة لمنع فقدان أي من حبيبات التربة.
١٣. ضع المحلول في الفرن حتى تبخر الماء لتبقى حبيبات التربة في حالتها الجافة، ثم أوزن وعاء التجفيف مع التربة الجافة لأقرب 0.01 gm .
١٤. احسب وزن التربة الجافة من الخطوتين (١١) و(١٣).

مليات الحسابية:

حساب القطر المؤثر لحبيبات التربة من العلاقة:

$$D = \sqrt{\frac{30n}{980} (G_s - G_r) \frac{L}{T}}$$

$$= K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

حيث:

$$D = \text{قطر جزيئات التربة (mm)}$$

$$n = \text{معامل لزوجة الماء عند درجة حرارة الاختبار (poises)}$$

$$G_s = \text{الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة}$$

$$G_r = \text{الوزن النوعي للماء عند درجة حرارة الاختبار، انظر جدول رقم (1).}$$

$$T = \text{الفترة الزمنية من بداية ترسب الجزيئات حتى أخذ القراءة (min)}$$

$$K = \text{ثابت يعتمد على درجة حرارة المحلول وعلى الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة، انظر جدول رقم (2).}$$

$$L = \text{المسافة من سطح المحلول إلى المستوى الذي تقاس عنده كثافة العينة، انظر جدول رقم (3).}$$

(ب) حساب نسبة التربة الناعمة من العلاقة:

$$N = \left[\frac{G_s}{G_r - 1} \times \frac{100000}{w_s} \right] (R - G_r)$$

حيث:

$$N = \text{نسبة التربة الناعمة (\%)}$$

$$G_s = \text{الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة}$$

$$G_r = \text{الوزن النوعي للماء عند درجة حرارة الاختبار، انظر جدول رقم (1).}$$

$$w_s = \text{وزن التربة الجافة}$$

$$R = \text{قراءة الهيدروميتر}$$

جدول (١): الوزن النوعي للماء حسب درجة الحرارة

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0.9999	0.9997	0.9982	0.9957	0.9922	0.9881	0.9832	0.9778	0.9718	0.9653
1	0.9999	0.9996	0.9980	0.9954	0.9919	0.9876	0.9827	0.9772	0.9712	0.9647
2	1.000	0.9995	0.9978	0.9951	0.9915	0.9872	0.9822	0.9767	0.9706	0.9640
3	1.000	0.9994	0.9976	0.9947	0.9911	0.9867	0.9817	0.9761	0.9699	0.9633
4	1.000	0.9993	0.9973	0.9944	0.9907	0.9862	0.9811	0.9755	0.9693	0.9626
5	1.000	0.9991	0.9971	0.9941	0.9902	0.9857	0.9806	0.9749	0.9686	0.9619
6	1.000	0.9990	0.9968	0.9937	0.9808	0.9852	0.9800	0.9743	0.9680	0.9612
7	0.9999	0.9988	0.9965	0.9934	0.9894	0.9848	0.9795	0.9737	0.9673	.9605
8	0.9999	0.9986	0.9963	0.9930	0.9890	0.9842	0.9789	0.9731	0.9667	0.9598
9	0.9998	0.9984	0.9960	0.9926	0.9885	0.9838	0.9784	0.9724	0.9660	0.9591

4.1 مقدمة Introduction:

يشير الكثير من المهندسين والباحثين المهتمين بأعمال التربة أن وجود الماء بفراغاتها له تأثير مباشر في حدوث الكثير من المشاكل الهندسية المتعلقة بمشاريع التشييد. فقد يحدث هبوط في مبنى بسبب حركة الأساسات الناجمة عن تأثير الماء على التربة، وقد يساهم الماء في تدمير تلك الأساسات نتيجة وجود مواد كيميائية مع الماء تتلف الخرسانة وحديد التسليح. وفي بعض أنواع التربة فإن وجود الماء قد يسبب انتفاخ أو انضغاط يضر بأساسات المنشآت، كما هو الحال في التربة الطينية. كما قد يسبب وجود الماء انجراف للتربة الرملية، أما إذا كان وجود الماء في فراغات التربة بكميات وافرة فإن ذلك يؤدي إلى تحول حالتها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.

إن الفراغات التي بين حبيبات التربة تكون مرتبطة ببعضها وتشكل أنابيب أو قنوات اتصال تسمح بمرور الماء من خلالها. فعلى سبيل المثال، عندما يسقط المطر فإن جزءاً منه يتدفق إلى باطن التربة تحت تأثير الجاذبية وتبقى نسبة منه بفراغات التربة بينما يتسرب الباقي إلى باطن الأرض حتى يصل إلى المياه الجوفية. وتعتمد حركة المياه خلال التربة على الاختلاف في الضغط الهيدروستاتيكي بين نقطتين داخل التربة، حيث يجري سريان الماء من النقطة ذات الارتفاع الهيدروستاتيكي الأعلى إلى النقطة ذات الارتفاع الهيدروستاتيكي المنخفض. وتعبير آخر فإن سريان الماء خلال فراغات التربة يعتمد على الميل الهيدروليكي، والشكل (4.1) يوضح تدفق الماء خلال كتلة من التربة المتجانسة في حالة وجود اختلاف في الضغط الهيدروستاتيكي والذي تبينه العلاقة التالية:

$$i = \frac{h}{L} \quad (4.1)$$

حيث:

$$i = \text{الميل الهيدروليكي}$$

$$h = \text{فرق ضغط الماء بين نقطتين}$$

$$L = \text{المسافة بين النقطتين التي لهما فرق ضغط الماء.}$$

فعلى سبيل المثال، عندما يتدفق الماء في قناة مائية طولها 3 km وفرق الارتفاع خلال هذه المسافة 30 m فإن الميل الهيدروليكي يصبح:

$$i = \frac{h}{L} = \frac{30}{3 \times 1000} = 0.01$$

الفصل الخامس: إجهاد التربة الرأسية

الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون المتدرب لديه القدرة على:

- حساب الضغط الرأسية للتربة تحت تأثير وزنها.
- حساب الضغط الرأسية للتربة تحت تأثير وزنها و الأحمال التي على السطح.
- معرفة تأثير ضغط المياه الأرضية والجوفية على حساب الضغط الرأسية للتربة.
- حساب الضغط الرأسية الإجمالي و ضغط الماء والضغط المؤثر للتربة.

الفصل السابع : ضغط التربة الجانبي

الجدارة:

معرفة الضغوط الجانبية للتربة والتي تؤثر على الحوائط والجدران الساندة، وكيفية تحليلها وإيجاد نقط تأثيرها.

الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون المتدرب لديه القدرة على:

- معرفة أنواع الضغوط الجانبية للتربة.
- تطبيق نظرية رانكن لتحديد الضغوط الجانبية للتربة.
- تحديد قوة الضغط الجانبية ونقطة تأثيرها على الحائط أو الجدار الساند.
- معرفة تأثير ميل سطح الأرض و الأحمال الحية على تحليل الضغوط الجانبية للتربة .

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع لإنهاء الفصل: خمس ساعات

7.1 مقدمة Introduction:

تعد الجدران أو الحوائط الساندة من العناصر الإنشائية التي تحتاجها بعض مشاريع التشييد مثل الطرق والأقبية وتسوية الميول الأرضية. وتحتاج الجدران الساندة إلى تصميم هندسي يتناسب مع القوى الناتجة عن ضغط التربة الجانبي. ولتحديد الضغط الجانبي المؤثر على الجدار الساند، فإن هناك مجموعة عوامل للتربة يجب معرفتها لضمان التصميم المناسب الذي يحقق حالة استقرار الجدار ويمنع انهياره، وهذه العوامل هي:

- وحدة وزن التربة
- زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة
- تماسك التربة
- منسوب المياه

إن الهدف من دراسة ضغط التربة الجانبي يكمن في تحديد مقدار محصلة ضغط التربة واتجاهها ونقطة تأثيرها على الجدار الساند أو الحاجز الترابي. وهناك ثلاثة أنواع من الضغوط الجانبية التي تتعرض الجدران الساندة أو الحواجز الترابية لها وهي:

(٥) الضغط في حالة الراحة Earth pressure at rest

(٦) الضغط الإيجابي Active earth pressure

(٧) الضغط السلبي Passive earth pressure

وتعد دراسة حالات هذه الضغوط ذات أهمية في الحكم على استقرار التربة، وفيما يلي عرض موجز لأنواع الضغوط الجانبية.

7.2 الضغط في حالة الراحة Earth pressure at rest:

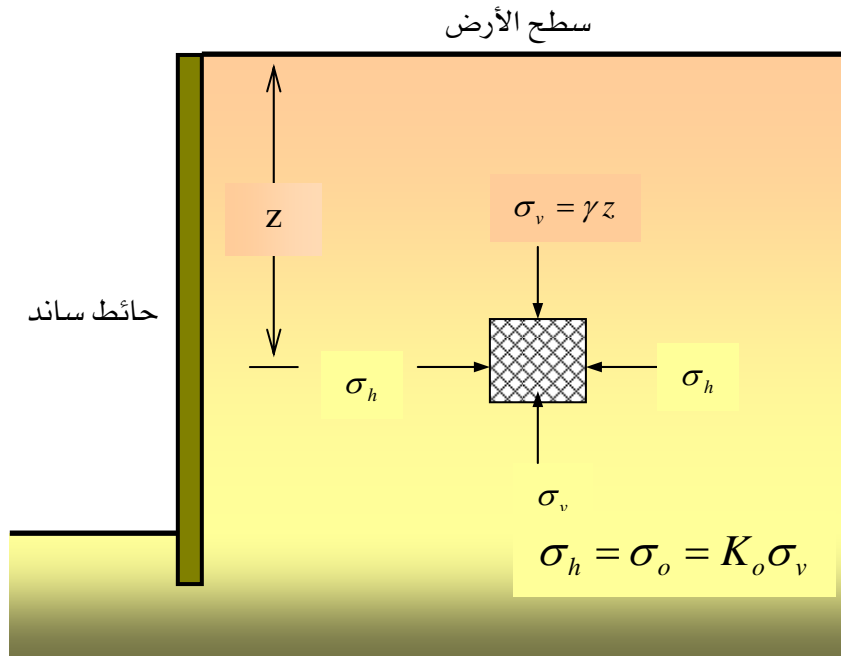
الشكل (7.1) يبين كتلة من التربة خلف جدار ساند وتقع على عمق z من سطح التربة ومعرضة للضغط الرأسي σ_v نتيجة وزن التربة والضغط الجانبي σ_h . وفي حالة ضغط الراحة يكون الجدار الساند ممنوعاً من الحركة سواءً كان في الاتجاه الخارجي أو في اتجاه التربة. وتحسب قيمة ضغط التربة الجانبي في حالة الراحة σ_o كنسبة من الضغط الرأسي المعلوم كما تبينها العلاقة:

$$\sigma_o = K_o \sigma_v \quad (7.1)$$

حيث $\sigma_v = \gamma z$ وتمثل ضغط التربة الرأسية تحت تأثير وزنها. أما K_o فتعني معامل الضغط أثناء الراحة وتتراوح قيمته من 0.5 إلى 1.0 ويستنتج من العلاقة:

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (7.2)$$

و ϕ هي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.



الشكل (7.1): ضغط التربة الجانبي في حالة الراحة

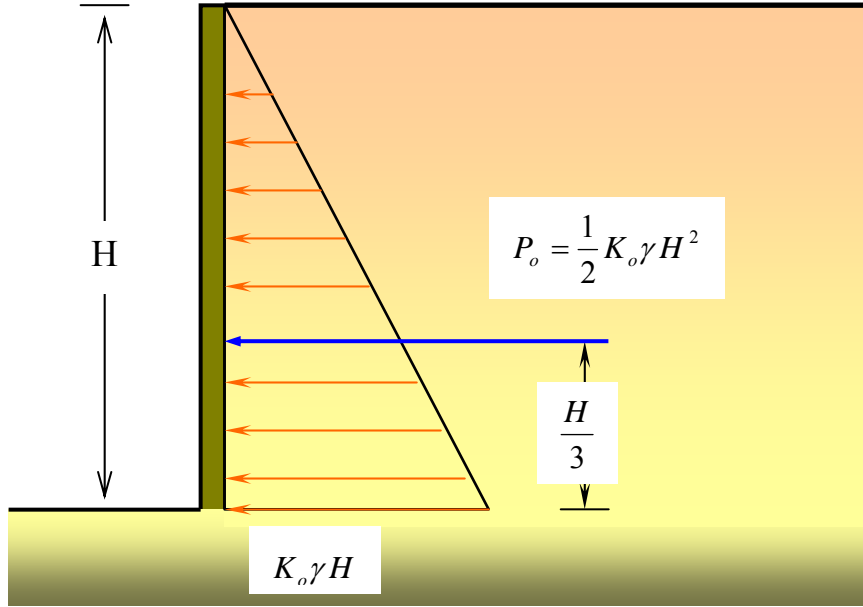
إن توزيع ضغط التربة الجانبي خلف الجدران الساندة أو الحواجز الترابية، في حالة الراحة وبارتفاع الجدار H يأخذ شكل المثلث (كما هو الحال في توزيع ضغط الماء على حاجز رأسي)، ويمثلها الشكل (7.2). حيث إن الضغط يتزايد خطياً مع العمق ويشكل مثلثاً قاعدته $(K_o \sigma_v)$. أما مساحة المثلث (شكل توزيع الضغط الجانبي) فتساوي قوة الضغط الناتجة عن التربة P_o والموضحة في العلاقة:

$$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 \quad (7.3)$$

أما نقطة تأثير محصلة الضغط على الجدار فتقع على مسافة $\frac{H}{3}$ من أسفل الجدار أو قاعدة المثلث.

7.3 نظرية رانكن للضغط الفعال والسلبى Rankine's theory of active and passive earth pressure

تعد نظرية رانكن من أسهل وأكثر الطرق استخداماً لدراسة ضغوط التربة الجانبية في الحياة العملية. وتفترض هذه النظرية عند تطبيقها أن يكون السطح الداخلي للجدار الساند أملس ويأخذ الشكل الرأسى وأن تمتد سطح التربة بشكل أفقى خلف الحائط.



الشكل رقم (7.2): توزيع ضغط التربة الجانبي في حالة الراحة

7.3.1 الضغط الإيجابي Active pressure

يعرف الضغط الإيجابي للتربة بأنه الضغط المؤثر على الجدار الساند والمؤدي إلى إزاحة بسيطة له في اتجاه الخارج ومبتعداً عن التربة ويحصل في هذه الحالة نقص في إجهاد التربة. والشكل (7.3) يمثل ضغط التربة الإيجابي σ_a والذي يمكن تحديده رياضياً بالعلاقة:

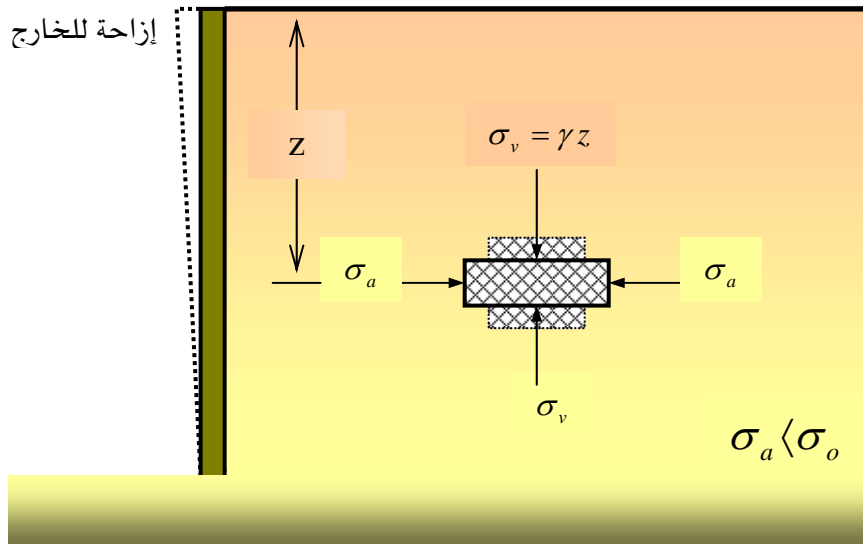
$$\sigma_a = K_a \sigma_v - 2c\sqrt{K_a} \quad (7.4)$$

حيث c يمثل تماسك التربة، أما K_a فهو معامل الضغط الإيجابي والذي يتم تحديده من المعادلة:

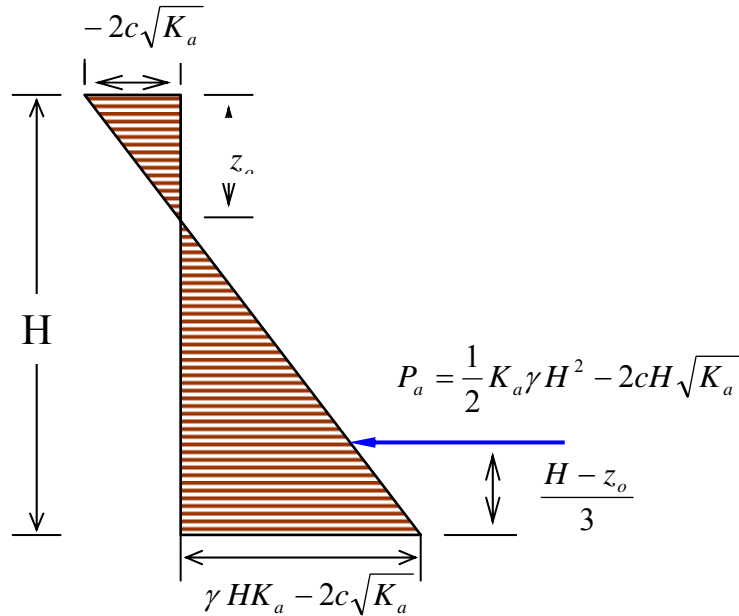
$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (7.5)$$

وتكون محصلة الضغط الإيجابي P_a ، وحسب الشكل (7.4) ، كالآتي:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2cH \sqrt{K_a} \quad (7.6)$$



الشكل (7.3): ضغط التربة الإيجابي



الشكل (7.4): توزيع ضغط التربة الإيجابي

أما العمق الذي ينعدم عنده الضغط على الجدار الساند فيعرف بعمق الشد أو التشقق z_o ، حيث تتماسك عنده التربة وتتعرض لتشققات تمتد من سطح التربة ، وهذه الحالة تنطبق على التربة المتماسكة مثل الطين ، ويحدد عمق التشقق من العلاقة:

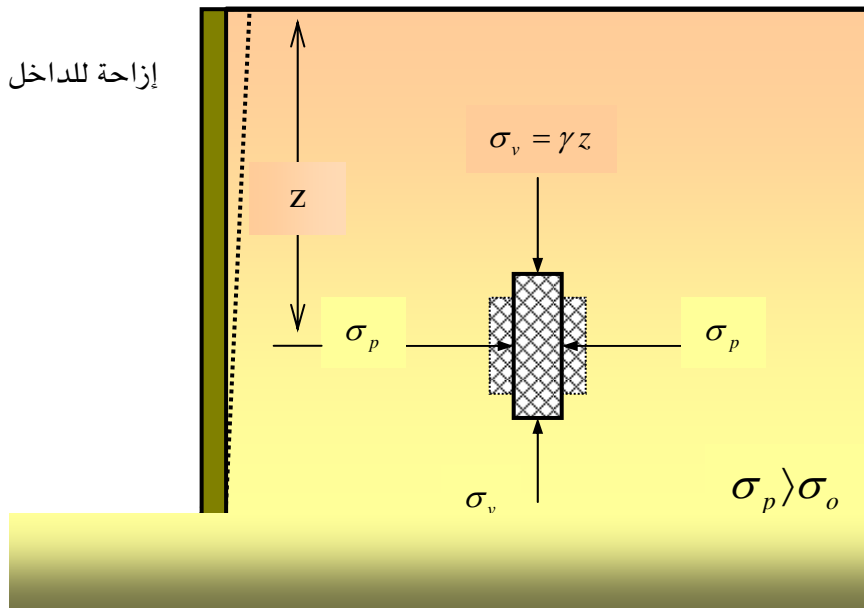
$$z_o = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}} \quad (7.7)$$

وعندما تكون زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة مساوية للصفر $\phi = 0$ فإن عمق الشد يأخذ العلاقة التالية:

$$z_o = \frac{2c}{\gamma} \quad (7.8)$$

7.3.2 الضغط السلبي Passive pressure :

يعد الضغط السلبي حالة عكسية للضغط الإيجابي حيث يؤدي الضغط المؤثر على الجدار الساند إلى حركة الجدار إلى الداخل في اتجاه التربة وتزيد بذلك إجهاد التربة. والشكل (7.5) يمثل ضغط التربة السلبي σ_p والذي يمكن تحديده بالعلاقة:



الشكل (7.5): ضغط التربة السلبي

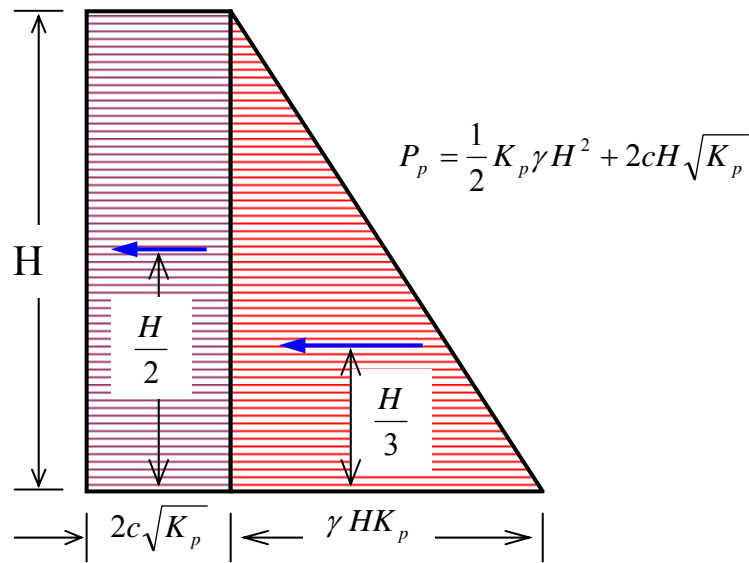
$$\sigma_p = K_p \sigma_v + 2c\sqrt{K_p} \quad (7.9)$$

حيث K_p هو معامل الضغط السلبي ويحدد بالمعادلة:

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (7.10)$$

وتكون محصلة الضغط السلبي P_p ، وحسب الشكل (7.6) ، كما يلي:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2cH\sqrt{K_p} \quad (7.11)$$

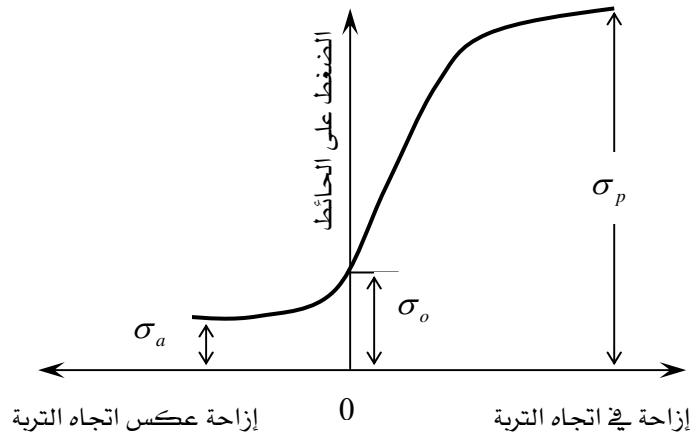


الشكل (7.6): توزيع ضغط التربة السلبي

يظهر الضغط السلبي بقيم أعلى من الضغط الإيجابي وإلا انهارت التربة بفعل إجهاد القص، ويبين ذلك الفرق بين قيم معامل الضغط الإيجابي ومعامل الضغط السلبي عند زاوية احتكاك واحدة ، كما يوضحها الجدول (7.1). وتقع قيم ضغط التربة عند الراحة بين الضغط الإيجابي والضغط السلبي مع التباين الواضح في القيم كما يبينها الشكل (7.7).

جدول (7.1): قيم K_a و K_p باستخدام نظرية رانكن

$\phi(o)$	K_a	K_p
10	0.703	1.42
15	0.589	1.70
20	0.490	2.04
25	0.406	2.46
30	0.333	3.00
35	0.271	3.69
40	0.217	4.61
45	0.171	5.83

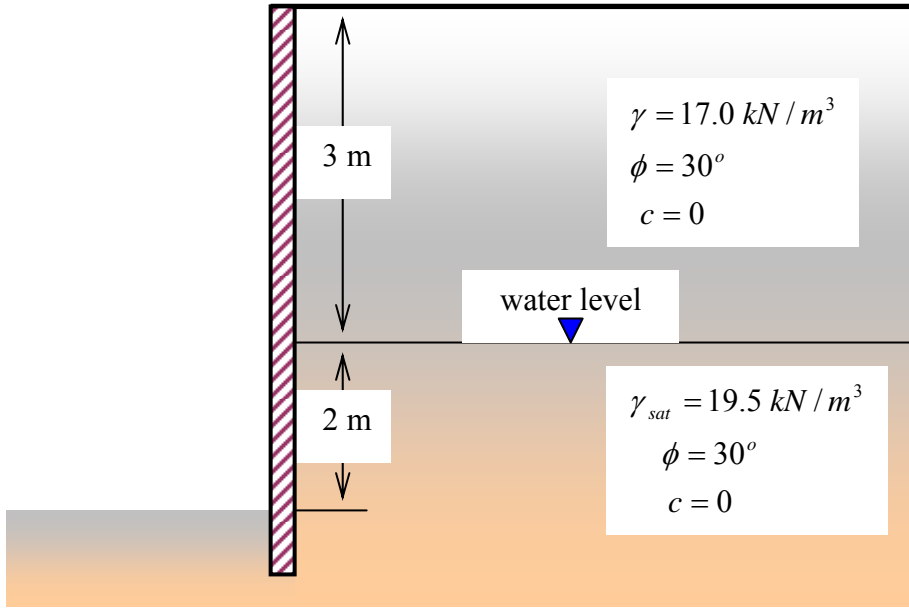


الشكل (7.7): تباين الضغوط الجانبية للتربة

مثال (7.1):

جدار استنادي أملس تم تشييده لإسناد تربة رملية تمتد بسطح أفقي وموضح في الشكل (7.8).

أوجد محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة وعين نقطة تأثيرها.



الشكل (7.8): رسم توضيحي للمثال (7.1)

الحل:

معامل الضغط عند الراحة:

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$= 1 - \sin 30 = 0.50$$

الضغط الجانبي عند العمق $H = 3 \text{ m}$:

$$\sigma_o = K_o \sigma_v$$

$$= 0.50 \times 17.0 \times 3 = 25.5 \text{ kN/m}^2$$

الضغط الجانبي عند العمق $H = 5 \text{ m}$:

$$\sigma_o = 0.50 \times 17.0 \times 3 + 0.50 \times (19.5 - 9.81) \times 2 = 35.19 \text{ kN/m}^2$$

ويلاحظ في حالة التربة المغمورة بالماء حساب الضغط الجانبي الفعال وليس الضغط الجانبي الكلي.
ضغط الماء خلال الطبقة السفلية:

$$u = 9.81 \times 2 = 19.62 \text{ kN/m}^2$$

ويمكن تمثيل قيم الضغط الجانبي للتربة و ضغط الماء في الشكل (7.9).

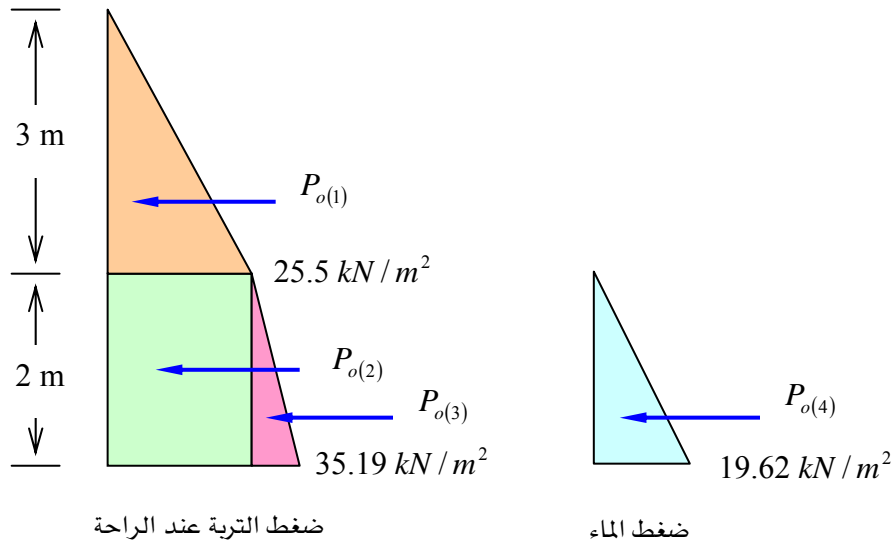
وتحسب مساحة كل شكل لإيجاد القوى لكل متر طولي من الحائط الساند وذلك على النحو التالي:

$$P_{o(1)} = \frac{1}{2} \times 3 \times 25.5 = 38.25 \text{ kN / m}$$

$$P_{o(2)} = 2 \times 25.5 = 51.00 \text{ kN / m}$$

$$P_{o(3)} = \frac{1}{2} \times 2 \times (35.19 - 25.5) = 9.69 \text{ kN / m}$$

$$P_{o(4)} = \frac{1}{2} \times 2 \times 19.62 = 19.62 \text{ kN / m}$$



الشكل (٧،٩): مخطط ضغوط الماء والتربة في المثال (7.1)

وبالتالي تكون محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة:

$$P_o = P_{o(1)} + P_{o(2)} + P_{o(3)} + P_{o(4)}$$

$$= 38.25 + 51.00 + 9.69 + 19.62 = 118.56 \text{ kN / m}$$

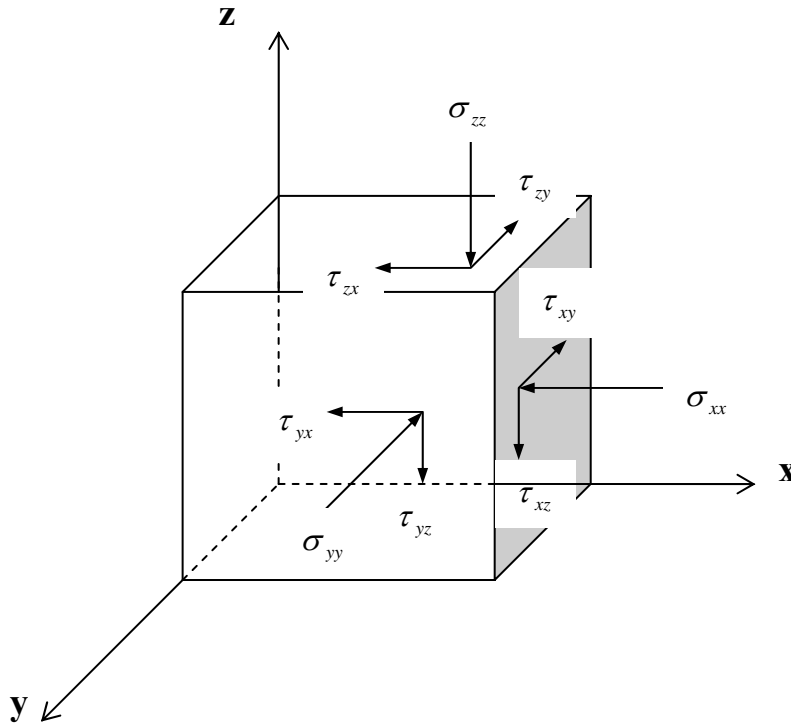
أما تحديد نقطة تأثير المحصلة (h) محسوبة من أسفل الجدار فهي:

$$h = \frac{38.25 \times (3 \times \frac{1}{3} + 2) + 51.00 \times \frac{2}{2} + 9.69 \times \frac{2}{3} + 19.62 \times \frac{2}{3}}{118.56}$$
$$= 1.56 \text{ m}$$

$$a = \frac{1}{2} K_a \gamma^2$$

5.1 مقدمة Introduction:

يعرف الإجهاد أو الضغط بأنه مقدار الحمل الذي تتعرض له وحدة المساحة، ويقاس بوحدة: القوة/المساحة، مثل N/m^2 . والترية بطبيعتها تمتد في الاتجاهات الثلاثة (x, y, z) ، حيث x و y تمثل الاتجاهين الأفقيين بينما z يعني الاتجاه الرأسي، وهي بذلك تتعرض لإجهادات في هذه الاتجاهات بسبب الأحمال الخارجية وأوزان التربة نفسها. وهذه الأحمال ينتج عنها انفعالاً للتربة قد يصل إلى مرحلة الانهيار. ولمعرفة الإجهادات التي تتعرض لها التربة، تأمل عنصر من التربة عند نقطة معينة تحت سطح الأرض، وعلى افتراض أن ذلك العنصر على شكل مكعب وموضح عليه الإجهادات كما في الشكل (5.1)، فإن كل وجه من أوجه المكعب معرضة إلى ضغط رأسي (σ) normal stress مع قوتي قص (τ) shear stresses.



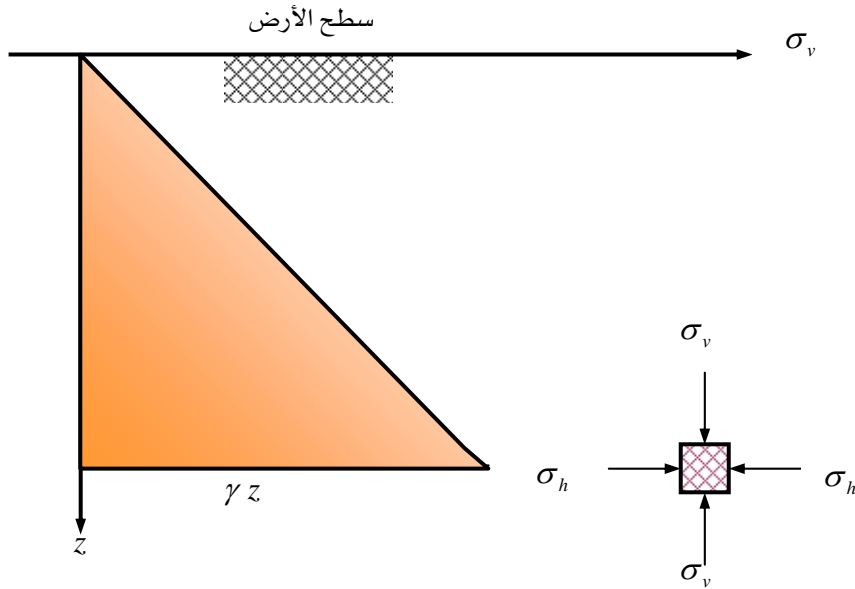
شكل (5.1): إجهادات التربة في شكل ثلاثي الأبعاد

5.2 الإجهادات الناجمة عن وزن التربة Stresses induced by the self weight of the soil

تعد معرفة الإجهادات التي تتعرض لها التربة نتيجة وزنها الذاتي من الأمور المهمة في علم ميكانيكا التربة نظراً لارتباطها بتحديد عدة نتائج مثل مقدار الهبوط المتوقع للتربة وقدرتها على مقاومة الأحمال الخارجية. إن إجهاد التربة الرأسي σ_v عند أي عمق يمكن تحديده بتأثير وزن التربة الذي يعلو ذلك العمق. فإذا كانت وحدة وزن التربة ثابتة فإن إجهاد التربة الرأسي يمكن إيجاده من العلاقة:

$$\sigma_v = \gamma z \quad (5.1)$$

حيث γ هي وحدة وزن التربة و z هو العمق الذي عنده يتم تحديد إجهاد التربة. و هذه العلاقة تبين أن الإجهاد الرأسي للتربة يتغير خطياً مع العمق إذا كانت متجانسة، حيث يتراوح بين القيمة صفر عند سطح الأرض- إذا لم يوجد أحمال على السطح- إلى قيم تزيد عن الصفر تحت سطح الأرض، كما يوضحها الشكل (5.2)، ويصاحب كل إجهاد رأسي وجود إجهاد أفقي σ_h عند أي نقطة تحت سطح الأرض.



شكل (5.2): تغير إجهاد التربة الرأسي مع العمق

أما إذا كانت التربة تحتوي على أكثر من طبقة وكل طبقة لها وحدة وزن مختلفة، فإن إجهاد التربة الرأسي يمكن حسابه بصيغة الجمع التالية:

$$\sigma_v = \sum \gamma \Delta z \quad (5.2)$$

وعندما تكون التربة مشبعة في ظل وجود المياه الجوفية فإنها تولد ضغط مائي عند العمق z_w وذلك وفق المعادلة التالية:

$$u = \gamma_w z_w \quad (5.3)$$

حيث u يرمز لضغط الماء بينما γ_w تعني وحدة وزن الماء ولها القيمة 9.81 kN/m^3 .

وعندما تتعرض التربة للأحمال فإنها تبدأ بمقاومتها عن طريق حبيباتها الصلبة والماء الموجود بفراغاتها. ومع زيادة الأحمال يبدأ الماء في التسرب من الفراغات حتى تصبح مقاومة الأحمال عن طريق الحبيبات فقط، وهذه الحالة تعرف بالإجهاد الرأسي المؤثر ($\bar{\sigma}_v$). وبمعرفة إجمالي إجهاد التربة الرأسي وضغط الماء، يمكن تحديد الإجهاد الرأسي المؤثر على حبيبات التربة وذلك بطرح ضغط الماء من إجمالي إجهاد التربة الرأسي وذلك حسب المعادلة:

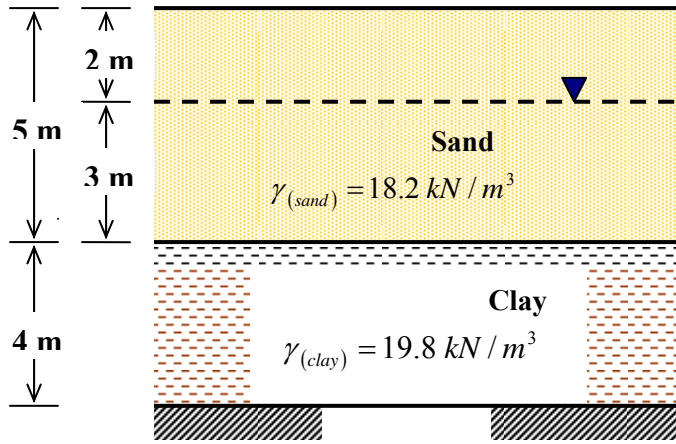
$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u \quad (5.4)$$

وتسمى المعادلة (٥.٤) بمعادلة ترزاكي (Terzaghi Equation).

وبالتالي فإن تغير منسوب المياه تحت سطح الأرض سوف يؤدي إلى تغير الإجهاد الرأسي المؤثر للتربة.

مثال (5.1):

أوجد الإجهاد الرأسى الإجمالى وضغط الماء والإجهاد الرأسى المؤثر فى منتصف الطبقة الطينية الموضحة فى الشكل (5.3)، موضحاً إجابتك بالرسم. مع ملاحظة أن التربة التى فوق منسوب المياه الجوفية تبقى مشبعة بسبب الخاصية الشعرية.



شكل (5.3): رسم توضيحي للمثال (5.1)

الحل:

أ) الحل التفصيلي:

عند منسوب المياه الجوفية ($z = 2.0 \text{ m}$):

$$\sigma_v = 2 \times 18.2 = 36.40 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 0$$

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u = 36.40 - 0 = 36.40 \text{ kN/m}^2$$

■ إجهاد التربة الرأسى

■ ضغط الماء:

■ الإجهاد المؤثر:

فى أعلى الطبقة الطينية ($z = 5.0 \text{ m}$):

$$\sigma_v = 36.40 + 3 \times 18.2 = 91.00 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 3 \times 9.81 = 29.43 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u = 91.00 - 29.43 = 61.57 \text{ kN/m}^2$$

■ إجهاد التربة الرأسى:

■ ضغط الماء:

■ الإجهاد المؤثر:

فى منتصف الطبقة الطينية ($z = 7.0 \text{ m}$):

$$\sigma_v = 91.00 + 2 \times 19.8 = 130.60 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 29.43 + 2 \times 9.81 = 49.05 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u = 130.60 - 49.05 = 81.55 \text{ kN/m}^2$$

■ إجهاد التربة الرأسى:

■ ضغط الماء:

■ الإجهاد المؤثر:

(ب) الحل المختصر:

في منتصف الطبقة الطينية ($z = 7.0 \text{ m}$):

$$\sigma_v = 5 \times 18.2 + 2 \times 19.80 = 130.60 \text{ kN/m}^2$$

■ إجهاد التربة الرأسية:

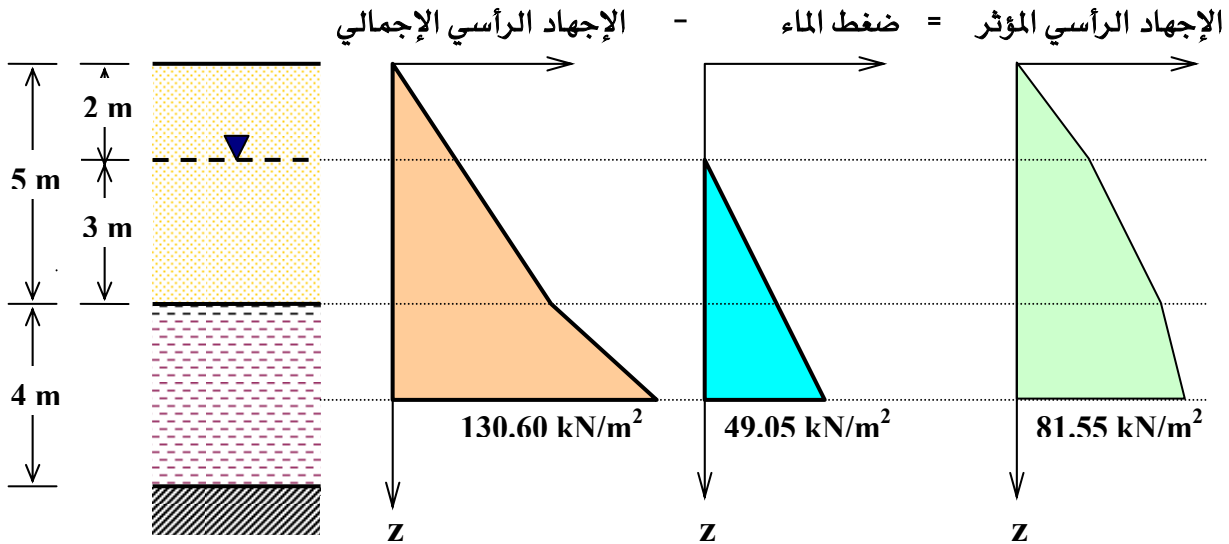
$$u = 5 \times 9.81 = 49.05 \text{ kN/m}^2$$

■ ضغط الماء:

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u = 130.60 - 49.05 = 81.55 \text{ kN/m}^2$$

■ الإجهاد المؤثر:

أما رسم الإجهاد الرأسية الإجمالي وإجهاد الماء والإجهاد المؤثر فيوضحه الشكل (5.4).



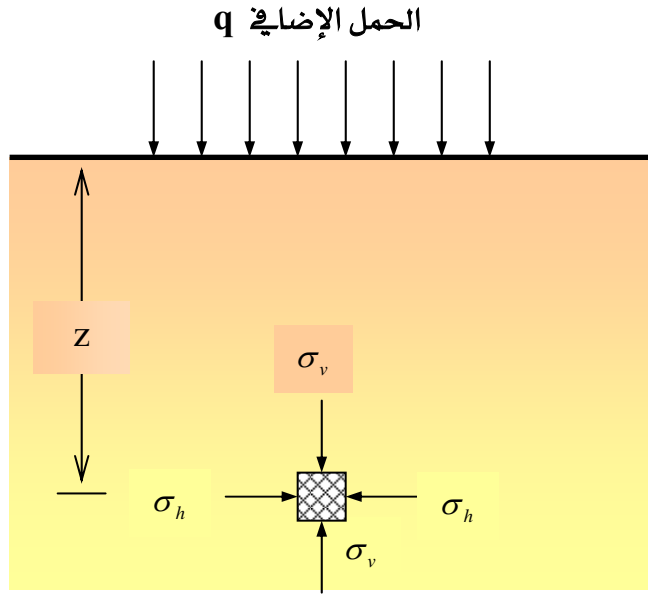
شكل (5.4): رسم توضيحي لنتائج المثال (5.1)

5.3 الإجهاد الكلي الناتج عن أحمال إضافية على السطح: Total stress with a surface surcharge load

إن الحمل الإضافية الذي يقع على سطح الأرض يزيد من إجمالي إجهاد التربة الرأسية تحت هذه الأحمال. ويقل تأثير الأحمال الإضافية على التربة كلما زاد العمق، وخاصة في حالة الأحمال المركزة ذات العرض المحدود. أما إذا كان عرض الحمل الإضافية واسعاً جداً فإن إجهاد التربة الرأسية يمكن اعتباره ثابت بقيمة مكافئة لمقدار الحمل الإضافية.

يبين الشكل (5.5) الحمل الإضافية على سطح الأرض والذي يمثل بالرمز q ، وفي هذه الحالة فإن إجمالي إجهاد التربة الرأسية يتم تحديده من العلاقة:

$$\sigma_v = \gamma z + q \quad (5.5)$$



شكل (5.5): الحمل الإضائي على سطح الأرض

مثال (5.2):

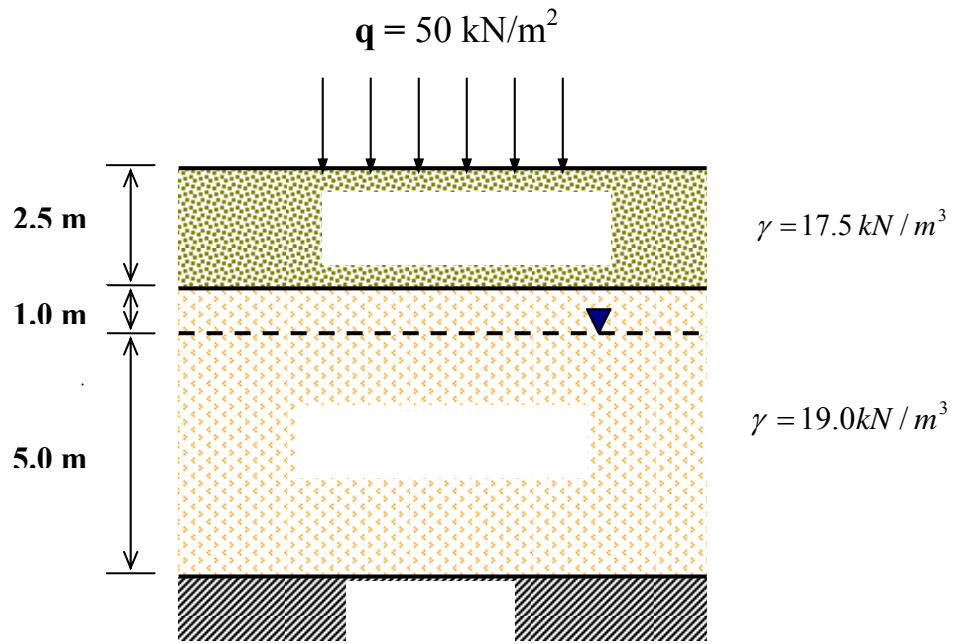
أوجد الإجهاد الرأسي المؤثر في أسفل طبقة الطمي الموضحة في الشكل (5.6)، إذا علمت أن الحمل الإضائي على سطح الأرض مقداره 50 kN/m^2 .

الحل:

عند أسفل طبقة الطمي ($z = 8.5 \text{ m}$)، فإنه الإجهاد الرأسي المؤثر يتم بتطبيق المعادلتين (5.4)

و(5.5) على النحو التالي:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_v &= q + (\sigma_v - u) \\ &= 50 + (2.5 \times 17.5 + 6 \times 19) - (5 \times 9.81) \\ &= 158.7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



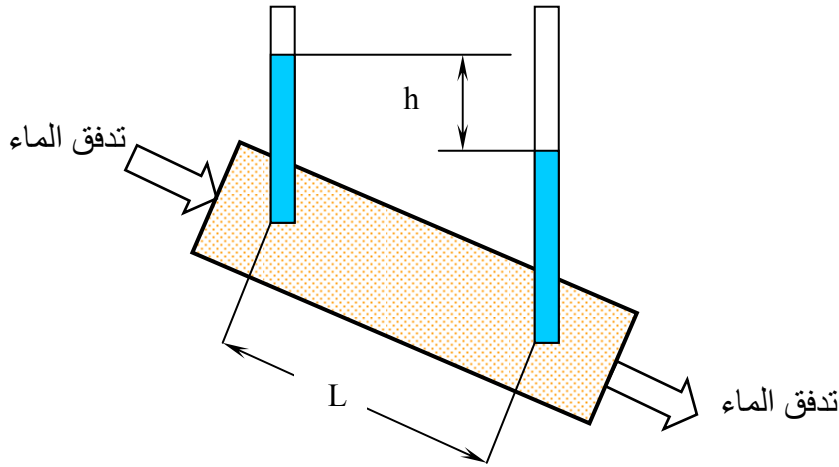
شكل (5.6): رسم توضيحي للمثال (5.2)

4.2 قانون دارسي Darcy's Law

في عام 1856 م اكتشف العالم دارسي أن سرعة تدفق الماء (v) خلال التربة تتناسب طردياً مع الميل الهيدروليكي (i)، أي أن:

$$v = k i \quad (4.2)$$

حيث (k) تمثل معامل نفاذية التربة والتي تعرف على أنها خاصية التربة التي تسمح بمرور الماء خلال فراغاتها، ولها نفس وحدة السرعة (مثل: متر في الثانية). وتعتمد نفاذية التربة على حجم حبيباتها وكمية الفراغات بها، كما يبينها الجدول (4.1). فالتربة ذات الحبيبات الخشنة لها نفاذية أعلى من التربة ذات الحبيبات الناعمة.



شكل (4.1): نفاذية التربة نتيجة الضغط الهيدروستاتيكي

كما أن قانون دارسي يحدد كمية المياه المتدفقة خلال مقطع محدد من التربة المعنية وذلك وفق المعادلة التالية:

$$Q = k i A \quad (4.3)$$

حيث:

$$Q = \text{تدفق الماء}$$

$$k = \text{معامل نفاذية التربة}$$

$$i = \text{الميل الهيدروليكي}$$

$$A = \text{مساحة المقطع المتعامد مع اتجاه التدفق}$$

جدول (4.1): قيم معامل النفاذية

التقريبية لأنواع التربة الرئيسية.

نوع التربة	$k(m/s)$
ركام Gravel	$>10^{-2}$
رمل Sand	$10^{-2}-10^{-5}$
طمي Silt	$10^{-5}-10^{-8}$
طين Clay	$<10^{-8}$

افتراضات قانون دارسي: Assumptions of Darcy' s Law

على الرغم من أن قانون دارسي يعد مفتاحاً للكثير من العلاقات في علم ميكانيكا التربة ذات العلاقة بين الماء والتربة، إلا أن هذا القانون بني في أساسه على افتراضات أهمها:

١. أن تكون التربة متجانسة homogenous soil
٢. أن يتدفق الماء بشكل مستمر وخطي laminar flow
٣. أن يأخذ سريان الماء الوضع المستقيم linear flow

مثال (4.1):

طبقة من التربة سمكها 2 m ونفاذيتها $6 \times 10^{-3} m/s$ ويتدفق من خلالها الماء لمسافة طولها 300 m وفرق الضغط المائي خلال هذه المسافة 9 m، احسب كمية المياه المتدفقة خلال هذه الطبقة في اليوم الواحد.

الحل:

يتم تحديد مساحة مقطع طبقة التربة بافتراض أن عرض الشريحة من طبقة التربة هو متر واحد.

$$A = 2 \times 1 = 2 \text{ m}^2$$

الميل الهيدروليكي:

$$i = \frac{9}{300} = 0.03$$

وبتطبيق المعادلة (4.3)، فإن معدل التدفق:

$$Q = k i A$$

$$= 6 \times 10^{-3} \times 0.03 \times 2 = 3.6 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$= 3.6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{hr}} \times 24 \frac{\text{hr}}{\text{day}} = 31.10 \text{ m}^3 / \text{day per meter of layer width}$$

4.3 قياس النفاذية Measurement of permeability

إن أهم ما يتعلق بدراسة نفاذية التربة هو تحديد معامل النفاذية (k) والذي يعد ذا قيم ترتبط

بعوامل وخواص التربة. وهناك طريقتان لتحديد معامل النفاذية وهما:

(١) تحديد معامل النفاذية في المعمل

(٢) تحديد معامل النفاذية في الموقع

وفيما يلي عرض موجز لقياس النفاذية في كل من المعمل والموقع.

4.3.1 تحديد معامل النفاذية في المعمل:

يتطلب تحديد معامل النفاذية للتربة في المعمل وجود عينة طبيعية undisturbed sample تمثل تربة

الموقع حتى تكون نتائج الاختبارات العملية أقرب إلى الواقع. وهناك طريقتان مشهورتان لتحديد معامل

النفاذية في المعمل وهما:

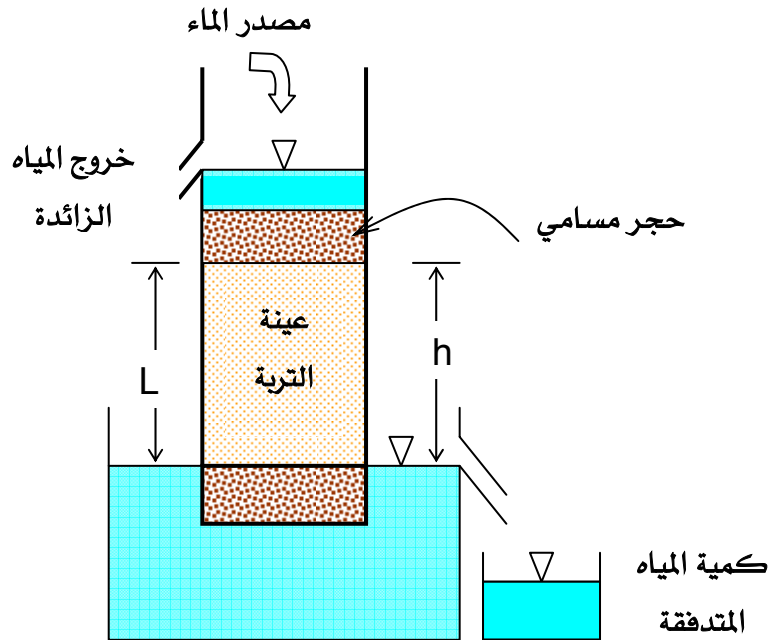
• اختبار الجهد الثابت Constant head test

• اختبار الجهد المتغير Falling head test

- إلا أن تحديد معامل النفاذية في المعمل لا يخلو من بعض العيوب والتي منها:
١. أن الاختبارات المعملية لا تعكس نفاذية التربة في الطبيعة بشكل دقيق.
 ٢. أن الاختبارات المعملية تقيس نفاذية التربة الرأسية فقط دون تحديد نفاذية التربة الأفقية.
 ٣. أن نتائج الاختبارات المعملية قد تتعرض لخطأ في أخذ قياسات التجربة.
 ٤. أن نتائج الاختبارات المعملية تتأثر بعدة عوامل مثل درجة الحرارة ودرجة تشبع العينة ونسبة فراغات الهواء فيها وطريقة أخذ عينة الاختبار.

اختبار الجهد الثابت Constant head test:

يستخدم هذا الاختبار لتحديد معامل النفاذية للتربة غير المتماسكة والتي لها نفاذية عالية مثل الحصى والرمل. والشكل (4.2) يوضح جهاز النفاذية ثابت الجهد، حيث توضع عينة التربة داخل جهاز أسطواناني وتكون محصورة بين حجرين مساميين. وعند تمرير الماء على عينة التربة تصبح مشبعة تماماً ثم يبدأ تسرب الماء من خلال العينة ويترك حتى يصبح تدفقه ثابت، بعدها يتم تجميعه في إناء لإيجاد حجمه في فترة محددة من الزمن.



شكل (4.2): جهاز اختبار الجهد الثابت

ويلاحظ أن الماء الزائد من جهاز الاختبار يتم تصريفه حتى يكون ضغط الماء (أي مستوى الماء) ثابت عند مدخل ومخرج الجهاز لضمان ثبات الميل الهيدروليكي، ومن هنا جاءت تسمية هذا الاختبار. وبتطبيق قانون دارسي، كما توضحه المعادلة (4.3)، فإن الحجم الكلي للماء الذي تم تجميعه خلال فترة من الزمن (t) يمكن تحديده بواسطة العلاقة:

$$Q = k i A t \quad (4.4)$$

وحيث إن الميل الهيدروليكي (i) يمكن تحديده بمعرفة ارتفاع عينة التربة (L) وفرق الضغط المائي (h)، وبالتعويض بالمعادلة (4.1) في المعادلة (4.4)، يتم استنتاج العلاقة:

$$Q = k \frac{h}{L} A t \quad (4.5)$$

بإعادة ترتيب المعادلة (4.5) فإنه معامل النفاذية، باستخدام اختبار الجهد الثابت، ي العلاقة:

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (4.6)$$

مثال (4.2):

عينة من التربة أجري عليها اختبار الجهد الثابت لتحديد معامل نفاذيتها في المعمل فكانت نتائج

الاختبار كما يلي:

○ ارتفاع العينة بين قطعتي الحجر المسامي = 120 mm

○ فرق الضغط المائي للاختبار = 60 mm

○ قطر عينة التربة = 100 mm

○ كمية الماء المجمع = 350 ml

○ فترة الاختبار الفعلية = 2 min

والمطلوب تحديد معامل النفاذية لهذه العينة بالوحدة (m/s).

الحل:

مساحة مقطع عينة التربة:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 100^2}{4} = 7854 \text{ mm}^2$$

كمية الماء المتدفق والذي تم تجميعه:

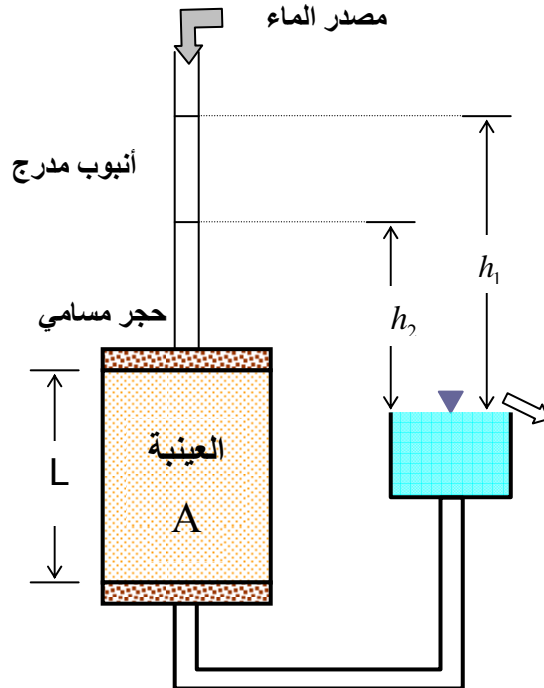
$$Q = 350 \text{ ml} = 35000 \text{ mm}^3$$

وبتطبيق المعادلة (4.6)، فإن معامل النفاذية لعينة التربة:

$$k = \frac{QL}{Aht} = \frac{350000 \times 120}{7854 \times 60 \times 2 \times 60} = 0.7427 \text{ mm/s} = 7.43 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

اختبار الجهد المتغير Falling head test:

الشكل (4.3) يوضح جهاز النفاذية متغير الجهد والذي يستخدم في تحديد معامل النفاذية للتربة المتماسكة مثل الطمي وبعض أنواع التربة التي تكون نفاذيتها منخفضة. يتدفق الماء إلى عينة التربة من خلال أنبوب متدرج لتصبح العينة مشبعة. والجهد المتغير في هذا الاختبار يدل على أن منسوب الماء عند مخرج الجهاز يكون ثابتاً، بينما يتناقص المنسوب مع الزمن عند مدخل الماء.



شكل (4.3): جهاز اختبار متغير الجهد

ويبدأ حساب معامل النفاذية عندما ينخفض الماء في الأنبوب من المنسوب h_1 إلى المنسوب h_2 خلال فترة معينة من الزمن. وبالتالي فإن معامل النفاذية، في صيغته النهائية وبعد اشتقاقه رياضياً، يظهر من العلاقة:

$$k = 2.30 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (4.7)$$

حيث:

a = مساحة مقطع الأنبوب

A = مساحة مقطع عينة التربة

L = طول عينة التربة

h_1 = الارتفاع الأولي لمنسوب الماء في الأنبوب

h_2 = الارتفاع النهائي لمنسوب الماء في الأنبوب

t = وقت تناقص منسوب الماء في الأنبوب من h_1 إلى h_2

مثال (4.3):

عينة متماسكة من التربة أجري عليها اختبار الجهد المتغير لتحديد معامل نفاذيتها في المعمل

فكانت نتائج الاختبار كما يلي:

○ الارتفاع الأولي لمنسوب الماء في الأنبوب = 1350 mm

○ الارتفاع النهائي لمنسوب الماء في الأنبوب = 550 mm

○ طول عينة التربة = 140 mm

○ قطر عينة التربة = 100 mm

○ قطر الأنبوب المدرج = 5 mm

○ فترة الاختبار الفعلية = 3 min

والمطلوب تحديد معامل النفاذية لهذه العينة بالوحدة (m/s).

الحل:

مساحة مقطع عينة التربة:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 100^2}{4} = 7854 \text{ mm}^2$$

مساحة مقطع الأنبوب المدرج:

$$a = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 5^2}{4} = 19.63 \text{ mm}^2$$

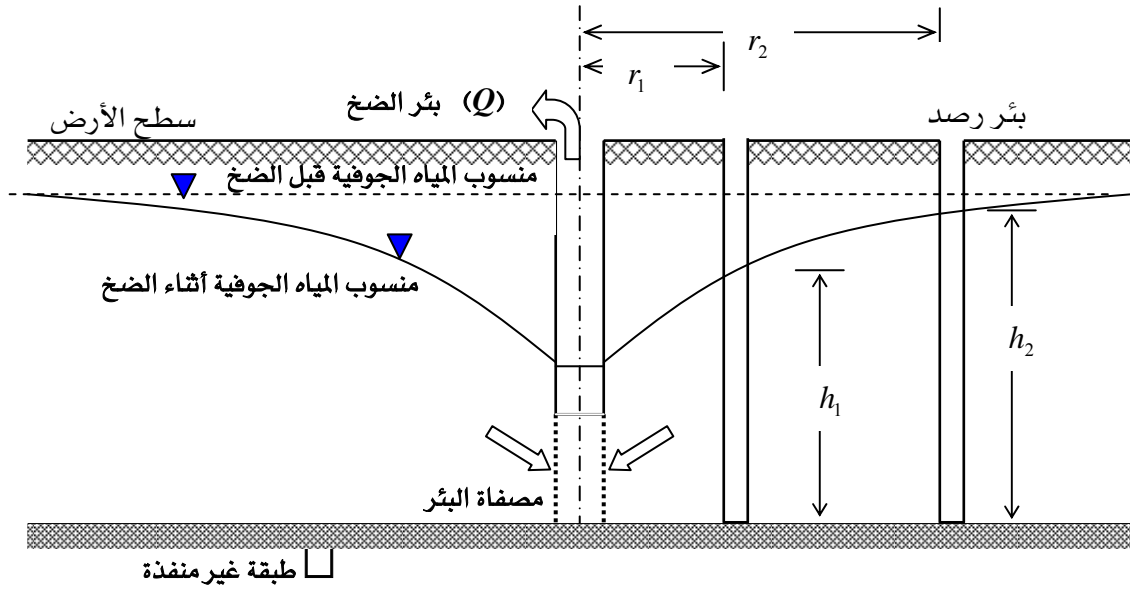
وبتطبيق المعادلة (4.7)، فإن معامل النفاذية لعينة التربة:

$$\begin{aligned} k &= 2.30 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} = 2.30 \times \frac{19.67 \times 140}{7854 \times 3 \times 60} \log_{10} \left(\frac{1350}{550} \right) \\ &= 1.744 \times 10^{-3} \text{ mm/s} \\ &= 1.744 \times 10^{-6} \text{ m/s} \end{aligned}$$

4.3.2 تحديد معامل النفاذية في الموقع (اختبار الضخ Pumping Test):

يعد تحديد معامل نفاذية التربة في الموقع أكثر دقة والأقرب إلى القيمة الحقيقية من تلك التي يتم تحديدها بالاختبارات المعملية. ذلك أن الاختبارات الحقلية تتعامل مع طبقات التربة وحببياتها وخواصها المختلفة في وضعها الطبيعي. ولا تكون الاختبارات الحقلية مجدية إلا في وجود طبقات التربة غير المتماسكة مثل طبقة الرمل.

ويوجد عدة اختبارات لتحديد نفاذية التربة في الموقع، إلا أن اختبار الضخ (pumping test) هو الأكثر استخداماً. وتكمن عملية هذا الاختبار بحفر بئر مغلقة بماسورة casing pipe في الطبقة المراد تحديد نفاذيتها حتى تتجاوز المنسوب الأصلي للمياه الجوفية وقد تصل إلى الطبقة الغير منفذه. كما يلزم حفر عدد من آبار الرصد (observation wells) لتحديد منسوب المياه بها كما في الشكل (4.4)، وذلك في وضع قطري وبمسافات مختلفة من بئر الضخ، شريطة أن تكون المسافة بين آبار الرصد وبئر الضخ لا تقل عن عشرة أضعاف قطر بئر الضخ.



شكل (4.4): اختبار الضخ

ويلزم عند إجراء الاختبار تحديد منسوب المياه الجوفية الأصلي. ويتم ضخ المياه من البئر الرئيسية بتدفق منتظم يبدأ معها منسوب المياه الجوفية في الانحدار قطعياً باتجاه بئر الضخ وبشكل متماثل. ويعتمد تحديد نفاذية التربة، باستخدام هذا الاختبار، على كمية المياه المتدفقة من بئر الضخ ومنسوب المياه الجوفية في آبار الرصد بعد الضخ وعلى المسافات الأفقية بين بئر الضخ وآبار الرصد كما توضحها العلاقة التالية:

$$k = \frac{Q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \quad (4.8)$$

حيث:

k = معامل نفاذية التربة المراد تحديدها

Q = كمية المياه المتدفقة من بئر الضخ

r_1 = المسافة الأفقية بين بئر الرصد الأولي وبئر الضخ

r_2 = المسافة الأفقية بين بئر الرصد الثانية وبئر الضخ

h_1 = ارتفاع منسوب المياه الجوفية في بئر الرصد الأولي

h_2 = ارتفاع منسوب المياه الجوفية في بئر الرصد الثاني

مثال (4.4):

عند إجراء اختبار الضخ لطبقة رملية كان الارتفاع الأصلي لمنسوب المياه الجوفية 11.20 m من الطبقة غير المنفذة، وبضخ المياه من البئر الرئيسة بمقدار $6.20 \text{ m}^3/\text{min}$ انخفض منسوب المياه في بئر الرصد القريبة بمقدار 5.15 m وفي بئر الرصد الأبعد بمقدار 2.48 m. فإذا كانت المسافة الأفقية بين بئر الضخ وبئر الرصد 4.33 m و 45.86 m، فأجد معامل نفاذية التربة بالوحدة (cm/s).

الحل:

ارتفاع منسوب المياه الجوفية في بئر الرصد:

$$h_1 = 11.20 - 5.15 = 6.05 \text{ m}$$

$$h_2 = 11.20 - 2.48 = 8.72 \text{ m}$$

كمية المياه المتدفقة:

$$Q = 6.20 \text{ m}^3/\text{min} = \frac{6.20}{60} = 0.1033 \text{ m}^3/\text{s}$$

وبتطبيق المعادلة (4.8) فإن معامل النفاذية لطبقة التربة:

$$k = \frac{Q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} = \frac{0.1033 \times \ln\left(\frac{45.86}{4.33}\right)}{\pi((8.72)^2 - (6.05)^2)}$$

$$= 1.97 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$= 1.97 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

١,٤ مقدمة Introduction

يمثل دمك التربة أحد المتطلبات الرئيسية في المشاريع المرتبطة بأعمال التربة والتي من أهمها الطرق والسدود الترابية وأساسات المنشآت. و يعرف دمك التربة بأنه الطاقة الميكانيكية التي تؤدي إلى زيادة كثافتها وذلك بطرد الهواء الموجود بين حبيباتها. وتهدف عملية دمك التربة إلى تحسين خواصها الهندسية وإلى تحقيق المتطلبات التالية:

١. زيادة مقدار تحمل التربة.

٢. الحد من هبوط التربة وتقليل نسبة فراغاتها.

٣. التحكم في التغيرات الحجمية للتربة من حيث الانكماش والانتفاخ.

٤. خفض نفاذية التربة للمياه.

٥. زيادة عامل الأمان ضد انزلاقات أو ردميات التربة.

وكانت عملية دمك التربة تتم بطريقة غير مدروسة ومعرضة لكثير من المحاولات التي ينتج عنها بعض الأخطاء، حتى عام 1930 تقريباً حينما استطاع مهندس أمريكي يدعى بروكتور R. R. Proctor أن يحدد مجموعة عوامل ترتبط بدمك التربة وهي:

١. الكثافة الجافة (γ_d) dry density

٢. المحتوى المائي (w) moisture content

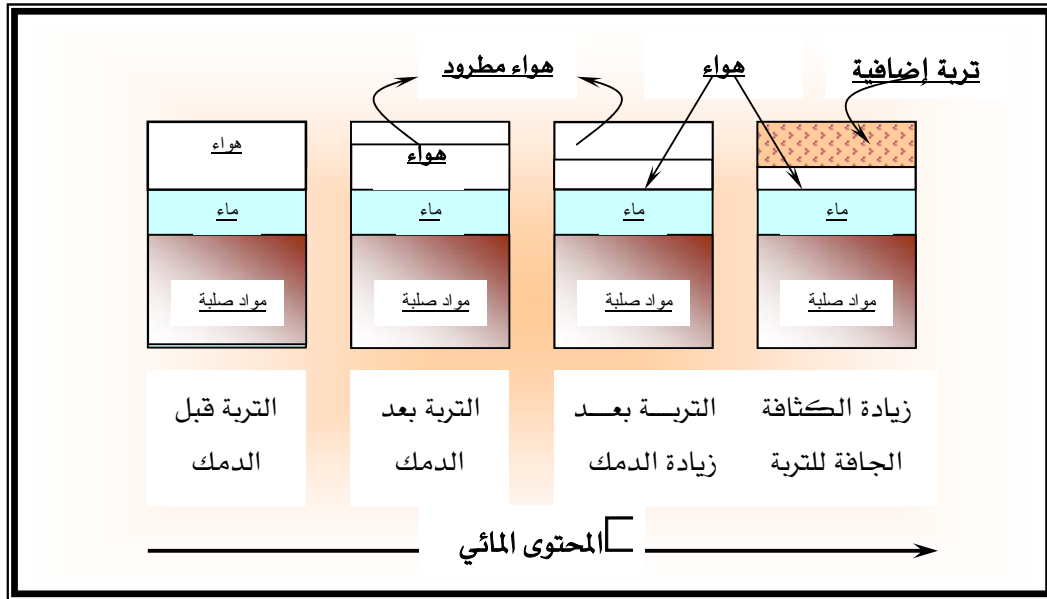
٣. الجهد المبذول للدمك (طاقة الدمك) compactive effort

٤. نوع التربة soil type

تحت تأثير أي جهد لدمك التربة فإن الكثافة الجافة للتربة تتغير حسب محتواها المائي. فعندما يكون المحتوى المائي للتربة $w = 0$ فإن الكثافة الرطبة تساوي الكثافة الجافة. وبزيادة نسبة المحتوى المائي للتربة تدريجياً فإن كثافتها الجافة تزيد عند نفس جهد الدمك. وهذا يعود إلى أن دمك التربة يعمل على طرد الهواء الموجود في فراغات التربة، حيث يترك ذلك إمكانية لحبيبات التربة أن تنزلق إلى تلك الفراغات وتأخذ الوضع الذي يؤدي إلى زيادة كثافة التربة بالإضافة إلى وجود الماء بين الحبيبات. وطالما أن هناك إمكانية لطرد الهواء فإن الكثافة الجافة تزيد بزيادة المحتوى المائي للتربة حتى تصل إلى أعلى قيمة لها. بعد ذلك تبدأ الكثافة الجافة بالانخفاض تدريجياً نتيجة أن الماء يبدأ في الإحلال بدلاً من الحبيبات الصلبة للتربة، لأن الماء لا يضغط بل يتحرك من خلال فراغات التربة. والشكل (1.4) يبين مراحل زيادة الكثافة الجافة للتربة بعد عملية طرد الهواء الموجود بين حبيبات التربة.

٢,٤ نظرية الدمك Compaction Theory

يحدث الدمك للتربة عند تعرضها لضغط ينتج عنه إعادة ترتيب الحبيبات تحت تأثير محتوى مائي معين. ويكمن الغرض من دمك التربة إلى إيجاد أقصى كثافة جافة (γ_{d-max}) ونسبة المياه الحرجة (OMC) optimum moisture content المناظرة لها أو ما يسمى بالمحتوى المائي الأمثل.



شكل (1.4): مراحل زيادة الكثافة الجافة للتربة

وتعد نسبة المياه الحرجة حدًّا لصلابة، فإذا كان المحتوى المائي للتربة أقل من هذا الحد فإن التربة تؤدي تكون خشنة وصعبة مدلا لكنا غارفت اذوت كثيرة تؤدي إلى ضايفنخا كثافتهاة فالجا ، أما إذا كان ليإا . تلحاوييئالما أعلى من اذه لحد فإن حبيباتهبترا تكون قابلة للحركة عابتلاوقلازئلاو د مما ي ضياًة فالجا اهتفاثك ضايفنخا

بيارات تستخدم لدمك التربة في المعمل عوضاً عن دمكها في الحقل، وذلك نظراً لسهولة وسرعة إجرتارابتخلا مذهاء، اولتي أهمها: هناك عدة اخذ

١. يسايقلا روتكوريد رابتخا Standard Proctor Test

٢. لدعدلا روتكوريد رابتخا Modified Proctor Test

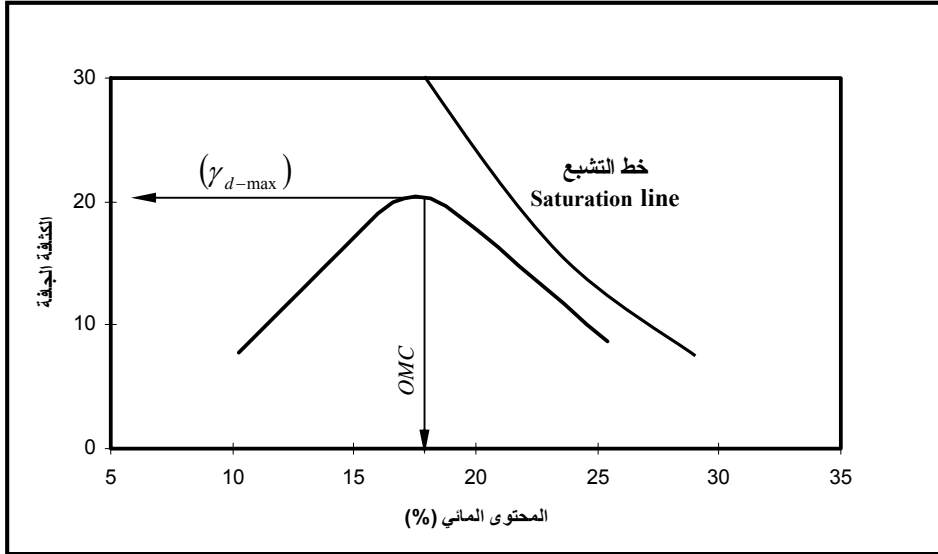
٣. اختبار هارفرد Harvard Test

٤. الاختبار الاستاتيكي Static Test

واختباري بروكتور القياسي والمعدل هما الأكثر والأوفر والأسهل استخداما، وسوف يتم التطرق لهما فقط في هذا المقرر. ويمكن تحديد الكثافة الجافة للتربة بمعرفة كثافتها الرطبة ونسبة المحتوى المائي لها باستخدام العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}} \quad (1.4)$$

وتتمثل هذه العلاقة برسم منحنى بين نسبة المحتوى المائي للتربة على المحور الأفقي والكثافة الجافة على المحور الرأسي كما يوضحه الشكل (2.4).



شكل (2.4): المنحنى النموذجي للدمك وعلاقته بخط التشبع

وتتمثل أعلى نقطة على المنحنى نقطة التقاطع بين أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها.

١,٢,٤ اختبار بروكتور القياسي Standard Proctor Test

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد أقصى كثافة جافة (γ_{d-max}) ونسبة المياه الحرجة (OMC) المناظرة لها. ويتم هذا الاختبار بتحضير أربع أو خمس عينات من التربة المعنية، بحيث تتضمن كل عينة محتوى مائي يزيد عن سابقتها بحوالي 2%. وتدمك كل عينة في قالب mold له أبعاد ثابتة وهي:

▪ قطر القالب 4 in = 101.6 mm = diameter of mold

▪ ارتفاع القالب 4.58 in = 116.43 mm = height of mold

▪ حجم القالب $\frac{1}{30} ft^3 = 943.3 cm^3 =$ volume of mold

والشكل (3.4) يبين نوع القالب المستخدم في دمك التربة والمطرقة التابعة له، حيث يثبت هذا القالب على قاعدة تابعة له، بينما يثبت في أعلاه ملحق يعمل به عند إجراءات الدمك.



شكل (3.4): القالب القياسي لدمك التربة في المعمل

وفي هذا الاختبار يتم خلط التربة جيداً بنسبة الماء المضافة ثم توضع في القالب على ثلاث طبقات متساوية، وتدمك كل طبقة بمقدار 25 ضربة بواسطة مطرقة تزن 2.5 kg وارتفاع سقوطها 30.5 cm. وبعد دمك التربة يتم إيجاد وزن التربة ومن ثم كثافتها (γ) من العلاقة:

$$\gamma = \frac{W}{V_m} \quad (2.4)$$

حيث: W = وزن عينة التربة المستخدمة

V_m = حجم القالب

وفي كل اختبار يؤخذ عينة من التربة المستخدمة لتحديد نسبة المحتوى المائي، وباستخدام المعادلة (1.4) يمكن تحديد الكثافة الجافة لكل اختبار ثم ترسم العلاقة بينها وبين نسبة المحتوى المائي لتحديد (γ_{d-max}) و (OMC).

٢,٢,٤ اختبار بروكتور المعدل Modified Proctor Test

يعد هذا الاختبار طريقة معدلة ومطورة لاختبار بروكتور القياسي، باستخدام نفس مواصفات القالب، بهدف الحصول على نتائج تؤدي إلى زيادة أقصى كثافة جافة للتربة. ويختلف اختبار بروكتور المعدل عن الاختبار القياسي في الآتي:

▪ عدد طبقات الدمك = 5 طبقات

▪ وزن المطرقة = 4.54 kg

▪ ارتفاع سقوط المطرقة = 45.72 cm

وغالباً ما تتراوح أقصى كثافة جافة لمختلف أنواع التربة بين 13 kN/m^3 إلى 23 kN/m^3 بينما تتراوح قيم نسبة المياه الحرة من 10% إلى 20%.

٢,٢,٤ خط التشبع Saturation Line

الشكل (2.4) يبين خط التشبع للتربة المعنية بالدمك وعلاقته بالمنحنى الذي يربط الكثافة الجافة بالمحتوى المائي، وقد يطلق عليه خط الفراغات التي بدون هواء zero air void line. وهذا يعطي أقصى كثافة جافة للتربة وذلك بفراغات خالية من الهواء ومملئة بالماء ($S = 100\%$)، ولكن هذه النتيجة نظرية

ويصعب الحصول عليها في الواقع العملي سواءً بالاختبارات المعملية أو الميدانية. وعليه فإن منحني دمك التربة لا يمكن أن يتقاطع مع خط التشبع تحت أي ظروف. ويتم الحصول على كثافة التربة الخاصة بخط أو منحني التشبع بقيم مختلفة للمحتوى المائي وبتطبيق المعادلة:

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{\frac{1}{G_s} + w} \quad (3.4)$$

حيث: γ_{zav} = وحدة وزن التربة عند درجة التشبع أو عندما لا يوجد هواء بالفراغات.
 γ_w = وحدة وزن الماء.
 G_s = الوزن النوعي لحبيبات التربة.
 w = المحتوى المائي للتربة.

مثال (1.4):

الجدول (1.4) يبين نتائج اختبار بروكتور القياسي. والمطلوب تحديد أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها.

جدول (1.4): معطيات المثال (1.4)

نسبة المحتوى المائي (%)	وزن التربة في القالب (جم)	رقم العينة
6.00	1847.71	1
8.00	2000.37	2
10.58	2163.13	3
12.90	2188.75	4
15.68	2097.81	5
17.78	2012.74	6

الحل:

حيث أن حجم القالب هو ثابت $V_m = 943.3 \text{ cm}^3$ ومعطى في هذا المثال وزن عينات التربة، فإن كثافة التربة لكل عينة يمكن تحديدها من العلاقة:

$$\gamma = \frac{W}{V_m}$$

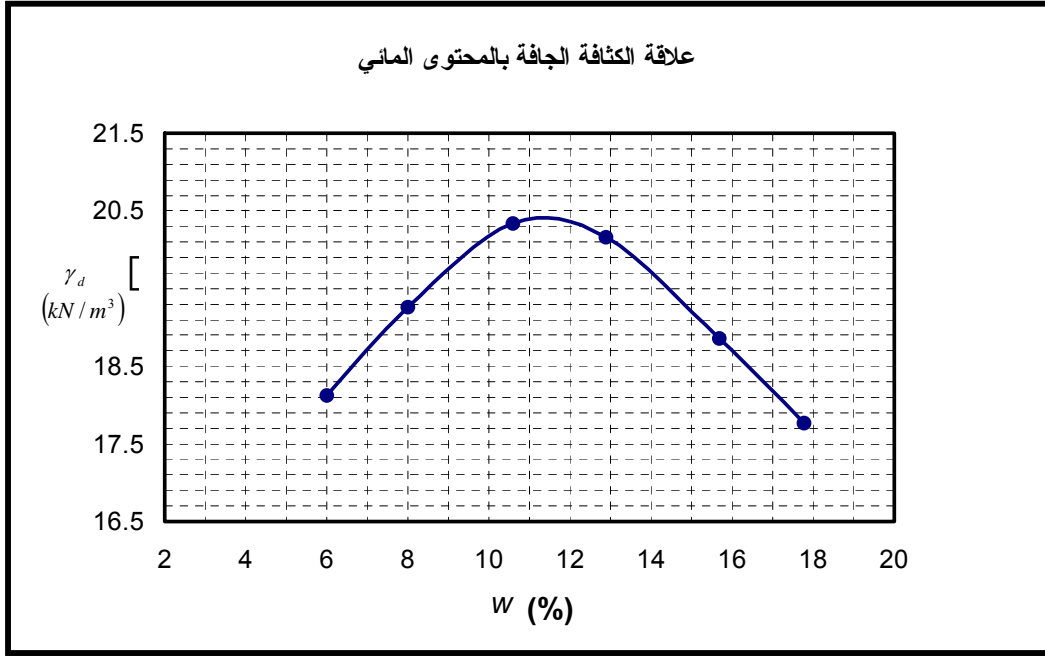
وبمعرفة كثافة التربة الرطبة، يتم تحديد الكثافة الجافة لكل عينة من خلال العلاقة الموضحة في المعادلة (1.4).

والجدول (2.4) يبين خطوات الحل لهذا المثال مع الأخذ في الاعتبار تحويل الوحدات من gm/cm^3 إلى kN/m^3 ، فيما يوضح الشكل (4.4) العلاقة بين أقصى كثافة جافة للتربة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها، ومن هذا الشكل فإن:

$$\gamma_{d-\max} = 20.43 \text{ kN/m}^3$$
$$OMC = 11.40 \%$$

جدول (2.4): خطوات حل مثال (1.4)

رقم العينة	المحتوى المائي (%)	وزن التربة (gm)	حجم القالب (cm^3)	الكثافة الرطبة (gm/cm^3)	الكثافة الرطبة (kN/m^3)	الكثافة الجافة (kN/m^3)
1	6.00	1847.71	943.30	1.96	19.22	18.13
2	8.00	2000.37	943.30	2.12	20.80	19.26
3	10.58	2163.13	943.30	2.29	22.50	20.34
4	12.89	2188.75	943.30	2.32	22.76	20.16
5	15.68	2097.81	943.30	2.22	21.82	18.86
6	17.78	2012.74	943.30	2.13	20.93	17.77



شكل (4.4): منحنى الدمك للمثال (1.4)

٣,٤ العوامل المؤثرة على الدمك Factors Effecting Compaction

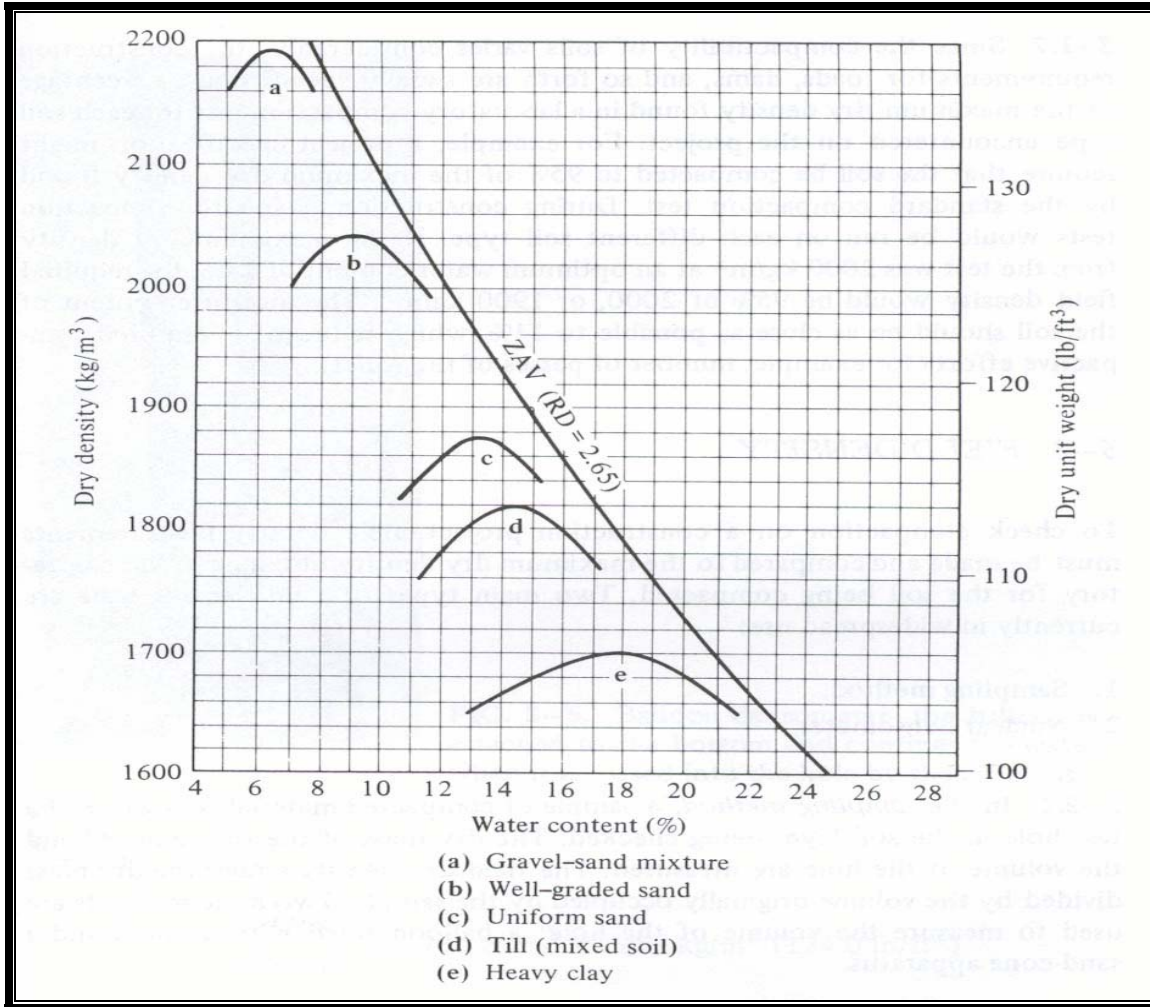
باستخدام أي نوع من اختبارات الدمك فإن الخواص الهندسية للتربة المدموكة وتركيبية حبيباتها تتأثر مباشرة بعدة عوامل أهمها:

(١) نوع التربة:

تتأثر عملية دمك التربة بحسب نوعها وخواص حبيباتها مثل شكل الحبيبات وتوزيعها والوزن النوعي لها ونسبة المواد الطينية بها. والشكل (5.4) يوضح المنحنيات التي تربط بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي لخمس أنواع من التربة بحسب تكوينها. فعلى سبيل المثال: التربة ذات الخليط من الزلط والرمل لها أعلى كثافة جافة وأقل محتوى مائي مقارنة بالتربة الطينية الثقيلة التي لها أقل كثافة جافة وأعلى محتوى مائي.

(٢) طاقة الدمك:

تعد طاقة الدمك من المعايير التي يمكن من خلالها الحكم على جودة دمك التربة. ومن الملاحظ في الشكل (6.4) أن الزيادة في طاقة الدمك تؤدي إلى زيادة في الكثافة الجافة ونقصان في نسبة المحتوى المائي لجميع أنواع التربة وهذا واضح في الفرق بين اختبار بروكتور القياسي واختبار بروكتور المعدل. وحسابياً فإن طاقة الدمك لكل وحدة حجم يمكن تحديدها من العلاقة:



شكل (5.4): منحنيات الدمك لأنواع التربة

$$E = \frac{N_b \times N_l \times h \times W_h}{V_m} \quad (4.4)$$

حيث: E = طاقة الدمك

N_b = عدد الضربات في كل طبقة

N_l = عدد الطبقات

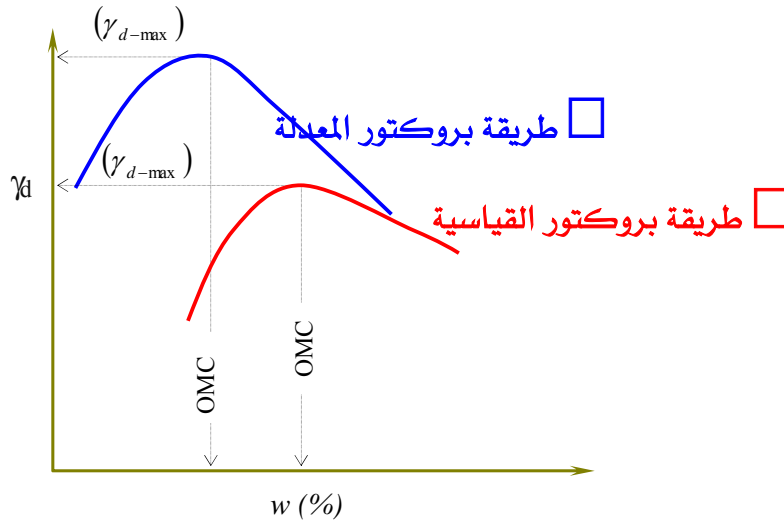
h = ارتفاع سقوط المطرقة

W_h = عدد الضربات في كل طبقة

V_m = حجم القالب

وبالتالي فإن طاقة الدمك التي يولدها اختبار بروكتور القياسي تكون:

$$E = \frac{25 \text{ bowls / layer} \times 3 \text{ layer} \times 0.305 \text{ m} \times 2.50 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} \times \frac{1}{1000} = 594.73 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$



شكل (6.4): تأثير طاقة الدمك على أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة

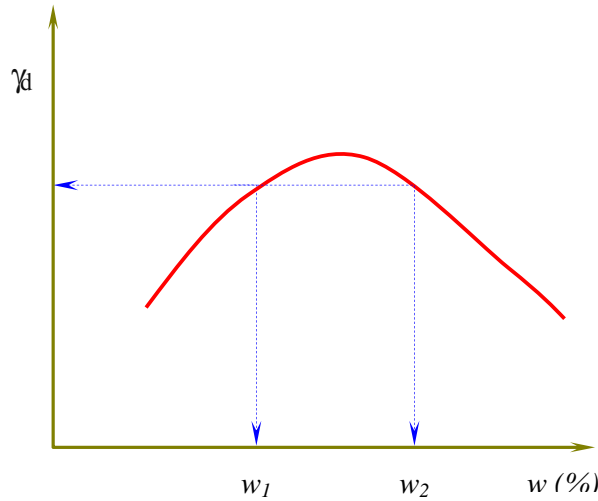
أما طاقة الدمك التي يولدها اختبار بروكتور المعدل فإنها:

$$E = \frac{25 \text{ bowls / layer} \times 5 \text{ layer} \times 0.4572 \text{ m} \times 4.54 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m / s}^2}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} \times \frac{1}{1000} = 2698.3 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

حيث أن طاقة الدمك الناتجة عن اختبار بروكتور المعدل تزيد بأربعة أضعاف الطاقة التي ينتجها اختبار بروكتور القياسي.

(٣) المحتوى المائي:

المحتوى المائي للتربة هو العامل الرئيسي للحصول على أقصى كثافة جافة للتربة تحت تأثير درجة دمك معينة. ويزيد المحتوى المائي لعينات التربة المستخدمة بهدف الحصول على نسبة المياه الحرجة والمثالية للدمك. ومن خلال المنحنى الذي يربط الكثافة الجافة مع نسبة المحتوى المائي للتربة فإنه عند أي قيمة للكثافة الجافة قيمتان للمحتوى المائي w_1 و w_2 كما يوضحه الشكل (7.4)، عدا أقصى كثافة جافة فإنها تعطي قيمة واحدة وهي نسبة المياه الحرجة (OMC). وهذه دلالة على مدى تأثير عامل المحتوى المائي على دمك التربة.



شكل (7.4): تأثير المحتوى المائي على دمك التربة

٤,٤ دمك التربة في الموقع Field Compaction

إن دمك التربة في الموقع يعد مكملاً لنتائج الدمك المعملية. ذلك أن كثافة التربة في الموقع تحتاج إلى مقارنة واضحة لأقصى كثافة جافة تم الحصول عليها من الاختبارات المعملية. ويمكن تحديد كثافة التربة في الموقع باستخدام الطرق التالية:

١. طريقة مخروط الرمل Sand Cone Method

٢. طريقة البالون المطاطي Rubber Balloon Method

٣. الطريقة النووية Nuclear Method

وسوف يتم التطرق إلى طريقة مخروط الرمل لكونها الأكثر والأسهل استخداماً.

١,٤,٤ معدات الدمك في الموقع Equipments of Compaction in the Field

يتم دمك التربة في الموقع بواسطة معدات مخصصة لهذا الغرض يرتبط استخدام كل منها بنوع التربة ومدى توفر تلك المعدة. وتختلف هذه المعدات من حيث طريقة الاستخدام، فمنها ما يعتمد على الضغط ومنها ما يعتمد على الاهتزاز. وأهم معدات دمك التربة في الموقع مايلي:

▪ مداحل اسطوانية ملساء Smooth-wheel rollers

يعد هذا النوع الأكثر استخداماً لدمك التربة في الموقع لكونه المناسب لمعظم أنواع التربة عدا تلك التي تحتوي على أحجار كبيرة. والعجلة الإسطوانية لهذه المعدة تغطي التربة التي تحتها بالكامل، كما يوضحها الشكل (8.4)، وبضغط يصل إلى 400 kN/m^2 . وقد يكون من المناسب أن تكون طبقات الدمك غير سميكة عند استخدام هذه المعدة إذا ما كان الهدف هو الحصول على دمك للتربة بكثافة عالية.

▪ مداحل بعجلات مطاطية Pneumatic or rubber-tired rollers

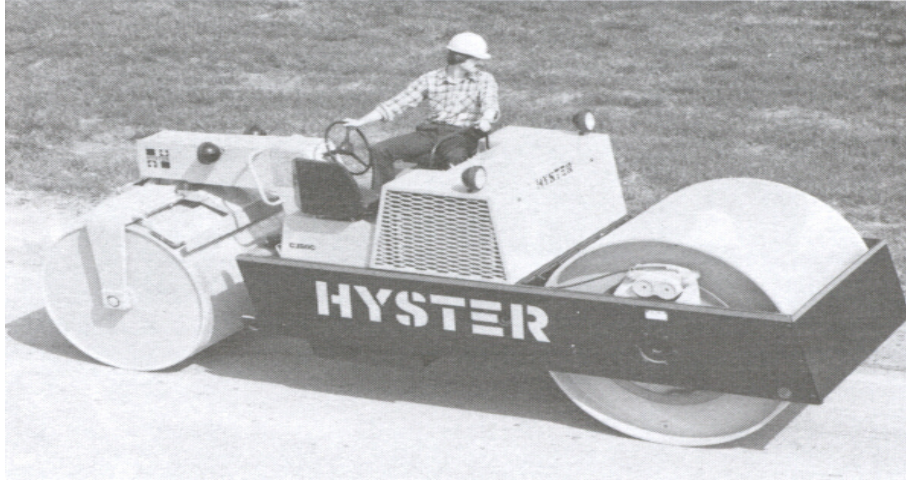
الشكل (9.4) يبين مدحلة ثقيلة محمولة بأربع عجلات، حيث تغطي ما نسبته % 80 من التربة التي تحتها. ويمكن استخدام هذا النوع من المعدات للتربة المتماسكة وغير المتماسكة، ويعيب عليه أنه يحتاج إلى مسارات متقاربة لإنهاء عملية الدمك. كما أن عجلات هذه المعدة ممكن أن تولد ضغط على التربة يصل إلى 700 kN/m^2 .

■ مداخل أرجل الغنم Sheepsfoot rollers

الشكل (10.4) يبين هذا النوع من المداخل الذي يحتوي على بروز في عجلاتها تشبه أرجل الغنم وتغطي ما نسبته % 12 من التربة التي تحتها ، ويولد ضغط على التربة يتراوح من 1400 إلى 7000 kN/m^2 . وغالباً فإن هذا النوع يستخدم للتربة اللزجة والتماسكة مثل الطمي والطين. ويتطلب استخدام هذه المعدة أن يكون هناك مسارات متكررة حتى يمكن تغطية الفراغات على طبقة التربة نتيجة البروز الموجود على هذه العجلات.

■ مداخل اهتزازية Vibratory rollers

يستخدم هذا النوع من المعدات لدمك للتربة غير المتماسكة مثل الزلط والرمل ، وقد تكون مدحلة ذات سطح أملس مركب عليها هزاز أفقي كما في الشكل (11.4). كما أن محدودية المساحة المحتاجة للدمك قد تتطلب إلى استخدام مكائن هزازية يدوية لاجراء عمليات الدمك كما في الشكل (12.4) .



شكل (8.4): مدحلة أسطوانية ملساء



شكل (9.4): مدحلة بعجلات مطاطية



شكل (10.4): مدحلة أرجل الغنم



شكل (11.4): مدحلة اهتزازية بسطح أملس



شكل (12.4): هزاز يدوي

٢,٤,٤ طريقة مخروط الرمل Sand Cone Method

يبين الشكل (13.4) الأجهزة المستخدمة لهذه الطريقة والمتمثلة في مخروط زجاجي أو بلاستيكي وقمع وأدوات حفرة. ويبدأ العمل بهذه التجربة بتحديد موقع التجربة على التربة المدموكة ومن ثم عمل حفرة وأخذ التربة المزالة من الحفرة وتحديد وزنها وليكن (W_{soil}) وتحديد المحتوى المائي لها (w). ثم يحدد حجم الحفرة بإحلال رمل ناعم ومعلوم الكثافة (γ_{sand}) بدلاً من تربة الحفرة. وبمعلومية وزن الرمل المستخدم لملء الحفرة وكذلك كثافته، فإنه يمكن تحديد حجم الرمل الذي يمثل حجم الحفرة من العلاقة:

$$V_{hole} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} \quad (5.4)$$

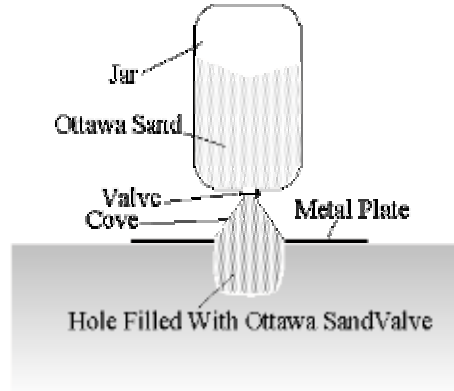


Figure 2

شكل (13.4): تجربة مخروط الرمل

وبمعرفة وزن التربة المزالة من الحفرة بعد تجفيفها وحجم الحفرة فإنه يمكن إيجاد كثافة التربة الجافة عن طريق العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{W_{soil}}{V_{hole}} \quad (6.4)$$

أو يمكن تحديد وزن التربة في حالتها الجافة عن طريق العلاقة:

$$W_{dry-soil} = \frac{W_{soil}}{1 + \frac{w}{100}} \quad (7.4)$$

ويتم التعويض بالمعادلة (7.4) في المعادلة (6.4) لتحديد الكثافة الجافة المطلوبة في الموقع.

مثال (2.4):

باستخدام طريقة مخروط الرمل أوجد الكثافة الجافة للتربة المدموكة في الموقع إذا علمت أن:

$$\gamma_{sand} = 1.46 \text{ gm/cm}^3 \text{ كثافة الرمل المستخدم}$$

$$W_{sand} = 468.7 \text{ gm} \text{ وزن الرمل المستخدم}$$

$$W_{dry-soil} = 618.3 \text{ gm} \text{ وزن التربة بعد تجفيفها}$$

الحل:

$$V_{hole} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} = \frac{468.7}{1.46} = 321.0 \text{ cm}^3 \text{ حجم حفرة الاختبار}$$

$$\gamma_d = \frac{W_{dry-soil}}{V_{hole}} = \frac{618.3}{321.0} = 1.93 \text{ gm/cm}^3 \approx 19.3 \text{ kN/m}^3 \text{ الكثافة الجافة للتربة}$$

٥,٤ الدمك النسبي (RC) Relative Compaction

بعد تحديد نتائج دمك التربة في كل من المعمل والحقل يتم معرفة كفاءة ودرجة الدمك ومقارنته بالمواصفات الهندسية للمشروع. وتعد درجة الدمك هي المعيار الأساسي الذي يمكن من خلاله الحكم على جودة الدمك، ويتم تحديدها من العلاقة:

$$RC(\%) = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{d-max(lab)}} \times 100 \quad (8.4)$$

حيث:

$$RC = \text{الدمك النسبي}$$

$$\gamma_{d(field)} = \text{الكثافة الجافة للتربة في الحقل}$$

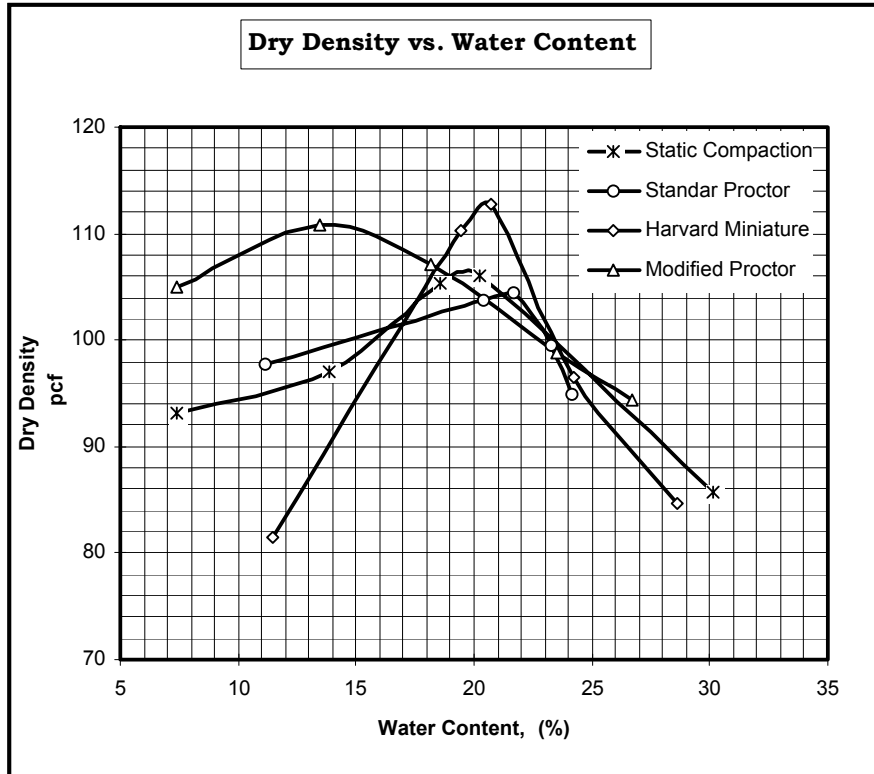
$$\gamma_{d-max(lab)} = \text{أقصى كثافة جافة للتربة في المعمل}$$

مسائل Problems

٤) عينة من التربة كثافتها الرطبة 19.85 kN/m^3 وتم وزنها وهي رطبة فكان وزنها 1012.7 gm ، أما وزنها وهي جافة فكان 992.3 gm . حدد الكثافة الجافة لهذه العينة من التربة.

٥) الشكل أدناه يبين نتائج الدمك المعملية لتربة ناعمة الحبيبات (fine-grained soil) وذلك باستخدام الأربع طرق الرئيسة للدمك، والمطلوب:

- أ - إيجاد أقصى كثافة جافة لكل طريقة باستخدام الوحدات (pcf).
- ب - إيجاد أقصى كثافة جافة لكل طريقة باستخدام الوحدات (kN/m^3).
- ج - إيجاد نسبة المياه الحرجة الناتجة عن كل طريقة.
- د - التعليق على نتائج الدمك، وماهي الطريقة التي توصي باستخدام نتائجها؟ ولماذا؟



٦) عينة من التربة أجري عليها إختبار الدمك في المعمل بطريقة بروكتور القياسية وكانت نتائج الاختبار كما يوضحها الجدول التالي:

رقم العينة	1	2	3	4	5
الكثافة الرطبة γ (kN/m^3)	16.7	18.0	19.2	18.9	17.3
المحتوى المائي w (%)	4.7	12.1	19.3	24.9	32.5

- أ - ارسم العلاقة بين الكثافة الجافة ونسبة المحتوى المائي لهذه التربة.
 ب - حدد أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها.
 ج - إذا كانت الكثافة الجافة للتربة في الموقع 15.7 kN/m^3 ، فما درجة الدمك المتوقع الحصول عليها؟ وما تعليقك على نتيجة هذه الدرجة؟

٧) مشروع سد ترابي تتطلب مواصفاته أن لا تقل درجة دمك تربته عن 97 %، وعند إجراء اختبار الدمك في المعمل تبين أن:

$$\gamma_{d-\max} = 19.20 \text{ kN/m}^3$$

$$OMC = 14.6 \%$$

أما نتائج الدمك في الحقل فأظهرت أن:

$$\gamma_{d-\text{field}} = 17.80 \text{ kN/m}^3$$

$$w = 17.3 \%$$

والمطلوب الإجابة على التالي:

- أ - هل من الناحية الهندسية يمكنك استلام هذا المشروع؟ وضح إجابتك.
 ب - كيف تحل مشكلة دمك التربة إذا لم تحقق مواصفات المشروع؟
 ج - هل سقوط الأمطار أثناء عمليات دمك تربة المشروع يؤثر على نتائج الدمك؟ ولماذا؟

٤,٤ دمك التربة في الموقع Field Compaction

إن دمك التربة في الموقع يعد مكملاً لنتائج الدمك المعملية. ذلك أن كثافة التربة في الموقع تحتاج إلى مقارنة واضحة لأقصى كثافة جافة تم الحصول عليها من الاختبارات المعملية. ويمكن تحديد كثافة التربة في الموقع باستخدام الطرق التالية:

١. طريقة مخروط الرمل Sand Cone Method

٢. طريقة البالون المطاطي Rubber Balloon Method

٣. الطريقة النووية Nuclear Method

وسوف يتم التطرق إلى طريقة مخروط الرمل لكونها الأكثر والأسهل استخداماً.

١,٤,٤ معدات الدمك في الموقع Equipments of Compaction in the Field

يتم دمك التربة في الموقع بواسطة معدات مخصصة لهذا الغرض يرتبط استخدام كل منها بنوع التربة ومدى توفر تلك المعدة. وتختلف هذه المعدات من حيث طريقة الاستخدام، فمنها ما يعتمد على الضغط ومنها ما يعتمد على الاهتزاز. وأهم معدات دمك التربة في الموقع مايلي:

▪ مداحل اسطوانية ملساء Smooth-wheel rollers

يعد هذا النوع الأكثر استخداماً لدمك التربة في الموقع لكونه المناسب لمعظم أنواع التربة عدا تلك التي تحتوي على أحجار كبيرة. والعجلة الإسطوانية لهذه المعدة تغطي التربة التي تحتها بالكامل، كما يوضحها الشكل (8.4)، وبضغط يصل إلى 400 kN/m^2 . وقد يكون من المناسب أن تكون طبقات الدمك غير سميكة عند استخدام هذه المعدة إذا ما كان الهدف هو الحصول على دمك للتربة بكثافة عالية.

▪ مداحل بعجلات مطاطية Pneumatic or rubber-tired rollers

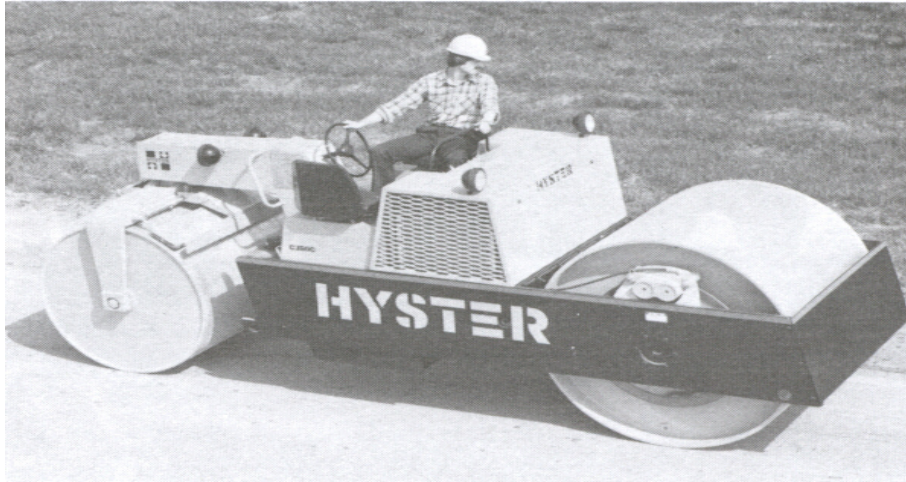
الشكل (9.4) يبين مدحلة ثقيلة محمولة بأربع عجلات، حيث تغطي ما نسبته % 80 من التربة التي تحتها. ويمكن استخدام هذا النوع من المعدات للتربة المتماسكة وغير المتماسكة، ويعيب عليه أنه يحتاج إلى مسارات متقاربة لإنهاء عملية الدمك. كما أن عجلات هذه المعدة ممكن أن تولد ضغط على التربة يصل إلى 700 kN/m^2 .

■ مداخل أرجل الغنم Sheepsfoot rollers

الشكل (10.4) يبين هذا النوع من المداخل الذي يحتوي على بروز في عجلاتها تشبه أرجل الغنم وتغطي ما نسبته % 12 من التربة التي تحتها ، ويولد ضغط على التربة يتراوح من 1400 إلى 7000 kN/m^2 . وغالباً فإن هذا النوع يستخدم للتربة اللزجة والمتماسكة مثل الطمي والطين. ويتطلب استخدام هذه المعدة أن يكون هناك مسارات متكررة حتى يمكن تغطية الفراغات على طبقة التربة نتيجة البروز الموجود على هذه العجلات.

■ مداخل اهتزازية Vibratory rollers

يستخدم هذا النوع من المعدات لدمك للتربة غير المتماسكة مثل الزلط والرمل ، وقد تكون مدحلة ذات سطح أملس مركب عليها هزاز أفقي كما في الشكل (11.4). كما أن محدودية المساحة المحتاجة للدمك قد تتطلب إلى استخدام مكائن هزازية يدوية لاجراء عمليات الدمك كما في الشكل (12.4) .



شكل (8.4): مدحلة أسطوانية ملساء



شكل (9.4): مدحلة بعجلات مطاطية



شكل (10.4): مدحلة أرجل الغنم



شكل (11.4): مدحلة اهتزازية بسطح أملس



شكل (12.4): هزاز يدوي

٢,٤,٤ طريقة مخروط الرمل Sand Cone Method

يبين الشكل (13.4) الأجهزة المستخدمة لهذه الطريقة والمتمثلة في مخروط زجاجي أو بلاستيكي وقمع وأدوات حفرة. ويبدأ العمل بهذه التجربة بتحديد موقع التجربة على التربة المدموكة ومن ثم عمل حفرة وأخذ التربة المزالة من الحفرة وتحديد وزنها وليكن (W_{soil}) وتحديد المحتوى المائي لها (w). ثم يحدد حجم الحفرة بإحلال رمل ناعم ومعلوم الكثافة (γ_{sand}) بدلاً من تربة الحفرة. وبمعلومية وزن الرمل المستخدم لملء الحفرة وكذلك كثافته، فإنه يمكن تحديد حجم الرمل الذي يمثل حجم الحفرة من العلاقة:

$$V_{hole} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} \quad (5.4)$$

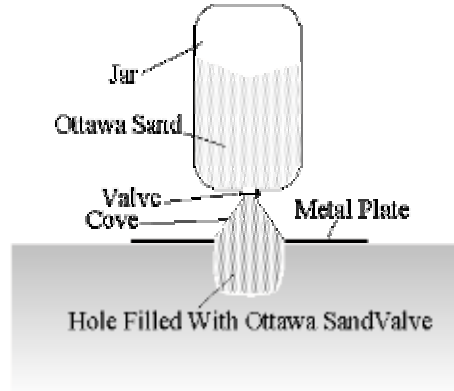


Figure 2

شكل (13.4): تجربة مخروط الرمل

وبمعرفة وزن التربة المزالة من الحفرة بعد تجفيفها وحجم الحفرة فإنه يمكن إيجاد كثافة التربة الجافة عن طريق العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{W_{soil}}{V_{hole}} \quad (6.4)$$

أو يمكن تحديد وزن التربة في حالتها الجافة عن طريق العلاقة:

$$W_{dry-soil} = \frac{W_{soil}}{1 + \frac{w}{100}} \quad (7.4)$$

ويتم التعويض بالمعادلة (7.4) في المعادلة (6.4) لتحديد الكثافة الجافة المطلوبة في الموقع.

مثال (2.4):

باستخدام طريقة مخروط الرمل أوجد الكثافة الجافة للتربة المدموكة في الموقع إذا علمت أن:

$$\gamma_{sand} = 1.46 \text{ gm/cm}^3 \text{ كثافة الرمل المستخدم}$$

$$W_{sand} = 468.7 \text{ gm} \text{ وزن الرمل المستخدم}$$

$$W_{dry-soil} = 618.3 \text{ gm} \text{ وزن التربة بعد تجفيفها}$$

الحل:

$$V_{hole} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} = \frac{468.7}{1.46} = 321.0 \text{ cm}^3 \text{ حجم حفرة الاختبار}$$

$$\gamma_d = \frac{W_{dry-soil}}{V_{hole}} = \frac{618.3}{321.0} = 1.93 \text{ gm/cm}^3 \approx 19.3 \text{ kN/m}^3 \text{ الكثافة الجافة للتربة}$$

٥,٤ الدمك النسبي (RC) Relative Compaction

بعد تحديد نتائج دمك التربة في كل من المعمل والحقل يتم معرفة كفاءة ودرجة الدمك ومقارنته بالمواصفات الهندسية للمشروع. وتعد درجة الدمك هي المعيار الأساسي الذي يمكن من خلاله الحكم على جودة الدمك، ويتم تحديدها من العلاقة:

$$RC(\%) = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{d-max(lab)}} \times 100 \quad (8.4)$$

حيث:

$$RC = \text{الدمك النسبي}$$

$$\gamma_{d(field)} = \text{الكثافة الجافة للتربة في الحقل}$$

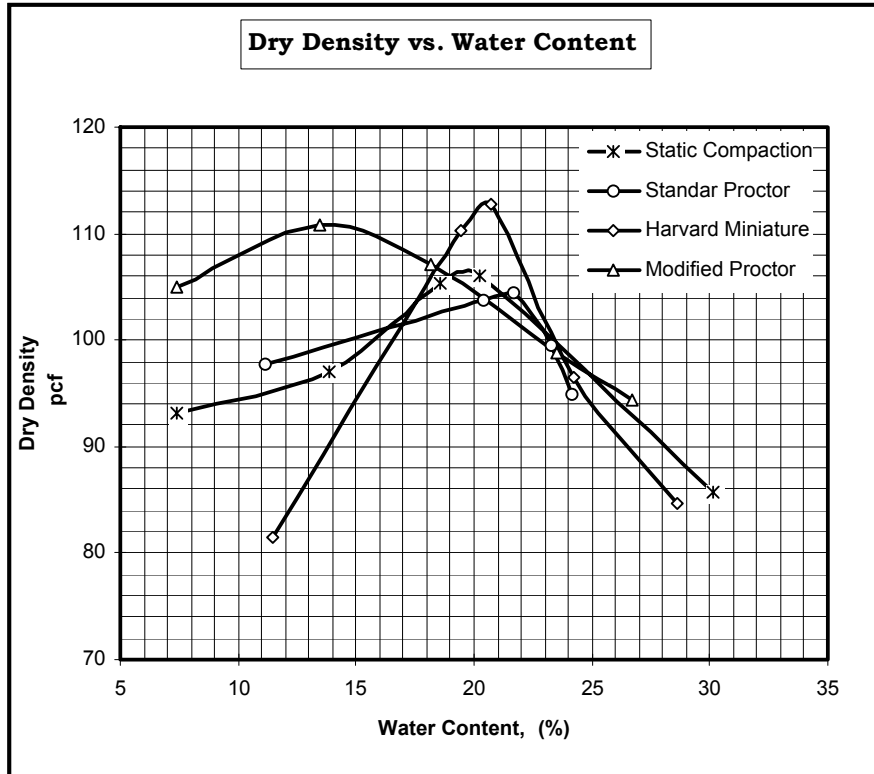
$$\gamma_{d-max(lab)} = \text{أقصى كثافة جافة للتربة في المعمل}$$

مسائل Problems

٤) عينة من التربة كثافتها الرطبة 19.85 kN/m^3 وتم وزنها وهي رطبة فكان وزنها 1012.7 gm ، أما وزنها وهي جافة فكان 992.3 gm . حدد الكثافة الجافة لهذه العينة من التربة.

٥) الشكل أدناه يبين نتائج الدمك المعملية لتربة ناعمة الحبيبات (fine-grained soil) وذلك باستخدام الأربع طرق الرئيسة للدمك، والمطلوب:

- أ - إيجاد أقصى كثافة جافة لكل طريقة باستخدام الوحدات (pcf).
- ب - إيجاد أقصى كثافة جافة لكل طريقة باستخدام الوحدات (kN/m^3).
- ج - إيجاد نسبة المياه الحرجة الناتجة عن كل طريقة.
- د - التعليق على نتائج الدمك، وماهي الطريقة التي توصي باستخدام نتائجها؟ ولماذا؟



تثبيت التربة

اعداد

ميساء سالم

مدرس مساعد

تنشيت ال

هناك بعض المواد التى تستخدم لتثبيت التربه مثل الاسمنت والجير والرماد المتطاير والبيوتومين

تثبيت التربه بالاسمنت:

يستخدم الاسمنت لتقويه التربه الطميهه والطنيه تحت الطرق والسدود الترابيه.

ماء الاسمنت:

1- يزيد مقاومه القص للتربه.

2- يقلل حاله السيوله.

3- يزيد معامل اللدونه والتشغيليه.

يكون الاسمنت اكثر تأثيرا اذا كان حد السيوله اقل من 0.5 ومعامل اللدونه اقل من 25

يحقن الاسمنت فى صوره مستحلب يتكون من اسمنت+ماء بنسب من (5-0.5) ويتم اولا حقن التربه بالماء

لترطيب مساحات التربه حتى لاتمتص الماء من المحلول الاسمنتى ثم يحقن المحلول بواسطه ابر الحقن

تحت ضغط (1-0.25) ضغط جوى.

التثبيت بالجير:

حجم الجير من 5 الى 10% من حجم التربه.

يستخدم الكالسيوم على صوره الجير الحى او المطفىء لتحسين التربه الناعمه بكميه تتراوح من 5-10%

من حجم التربه ويحسن الكالسيوم من خواص التربه فيقلل حد السيوله ويزيد معامل اللدونه وكذلك مقاومه

القص.

طرق تثبيت التربه فى الموقع:

1- الخلط مع الجير والدمك بعد رش الماء.

2- تخلط التربه بالجير والماء خارج الموقع ثم يتم ارجاعها مع الدمك.

3- محلول الجير يحقن تحت ضغط وتصل الاعماق من 4 الى 5 امتار.

كدا نكون انتهينا من الجزء الاول فى تثبيت التربه

اتمنى انه يكون فى متناول الجميع وتحت امركم فى تفسير اى شىء فى المصطلحات وانتظرونا

التثبيت باستخدام البيوتومين

يستخدم البيوتومين فى تثبيت التربه فى مجال الطرق وتكون المعالجه اما بالحقن بالبيوتومين المنصهر او

المستحلب البيوتوميني ويتكون المستحلب من 60% بيوتومين و 40% ماء ويحقن تحت ضغط 30-35 ضغط جوى ونسبه البيوتومين فى الخلط من 4-14% من وزن التربه.

التثبيت باستخدام السيليكات:

تستخدم سيليكات الصوديوم فى تقويه التربه بالحقن تحت ضغط 15 ضغط جوى ثم يحقن كلوريد الكالسيوم تحت نفس الضغط وينتج من التفاعل اكسيد الكالسيوم الكلوريدى الذى تقوم جزيئاته بربط التربه ببعضها ونسبه سيليكات الصوديوم الى كلوريد الصوديوم من 2.5 الى 3 مع تسخين سيليكات الصوديوم حتى درجه حراره 60-80 درجه مئوية.

التثبيت باستخدام الرماد المتطاير:

وهو مخلف من مخلفات حرق الفحم ويتكون من السيليكات والامونيا وله نفس الصفات الاسمنتيه ويستخدم بمفرده او مع الجير ليعطى منتجا اسمنتيًا بنسب خلط 10-30% من الرماد و 2-10% جير وعاده مايخلط مركب الرماد المتطاير مع التربه ثم يدمك مع المحتوى المائى الامثل للحصول على التربه المحسنه.

تثبيت التربه بالتدعيم بالشبكات:

يمكن تدعيم التربه باستخدام شرائح الشبكات المعدنيه أو الشبكات البلاستيكيه وتصنع الشبكات البلاستيكيه هذه من منتجات البترول مثل البولى إيثيلين حيث من المؤكد أن تزيد هذه الشبكات من ترابط التربه وتهويتها وستتواجد بنوعين احاديه وثنائيه والمسافه بينها 25-150مم وتستخدم فى المجالات الاتيه:

- 1- تدعيم التربه تحت أساسات الطرق.
- 2- تستخدم فى الحوائط السانده.
- 3- تستخدم فى أرصفه الموانىء.

تسليح التربة

اعداد

ميساء سالم

مدرس مساعد

soil reinforcement تسليح التربة

تستخدم الجيوجريد في تسليح التربة نفسها وتحسين خواصها ومقاومته قوى الشد المتولده فيها وهي نوع من انواع اخرى من الرقائق الجيوتقنيه ويطلق عليها جيوسينستيك وهي عباره عن الياف بلاستيك على شكل نسيج شبكى له فتحات مختلفه تستخدم في سليح التربه والفصل بين الطبقات ويوجد انواع خرى تستخدم في تسليح التربه هـ مثلا جيو نكستيل وجيو ممبران وجيو كمبوزيت وتعمل على تثبيت التربه وزياده التماسك بين الطبقات المختلفه وكذلك التصريف الجيد للمياه الامطار وتتوقف جوده التصريف على سمك الرقائق وخاصيه المساميه لها وايضا في عزل الرطوبه

هناك عدة أنواع من شبكات التعزيز، مصنوعة من مواد مختلفة (الفولاذ والزجاج، والبوليمرات steel, glass, polymers)، في مختلف هندستها، مع أو من دون تركيب النسيج أو القاعدة. الخصائص المطلوبة هي:

- الحد الأدنى وصلابة من أجل من 0.3 م ن / م2؛ - الهندسة (فتح البوابة) التعشيق الميكانيكية مناسبة بين البوابة والأسفلت. - التوافق مع البيتومين والأسفلت، و ضمان ضمان إلتصاق الشبكة الإلتزام بالإضافة إلى إلى ضمان رد الفعل الميكانيكي. - التوافق السلوك الحراري (الانسحاب - التوسع) بينالشبكة والأسفلت عند التنفيذ وفي الموقع. -حصر تباين التنقل؛ - حصرلتعب المواد. - مقاومة العوامل الكيميائية في الطريق.

الهدف :

-يقال الطالب المستقبلي على صيانة الهيكليية للطرق

- آثار إيجابية على سلوك وحياة المزيج الأسفلتي

- أسلوب التعزيز يحل مشكلة إعادة تأهيل وتطوير الطرق التي لم تدرس جيدا ، التي تواجه عارضة حركة المرور الثقيلة الوزن، التي لم تكن تتحمل هايه الأحجام الجديدة.

تثبيت التربة باستخدام الأنسجة



فحوصات نسبة تحمل كاليفورنيا

1-8 مدخل

2-8 فحص نسبة تحمل كاليفورنيا - سي بي آر

الباب الثامن | فحوصات نسبة تحمل كاليفورنيا

(California Bearing Ratio-CBR Test)

1-8 مدخل (Introduction)

يعتبر فحص نسبة تحمل كاليفورنيا واحداً من الفحوصات الهامة التي تجري للتربة في هندسة الطرق.

ويرمي هذا الفحص إلى معرفة قابلية التربة لأن تكون طبقة أساس للطريق (Base) أو أساس مساعد (Sub-base) أو غيرها من الطبقات التي تتكون منها أي طريق.

وقد جاءت تسمية هذا الفحص نسبة إلى قسم الطرق في ولاية كاليفورنيا الأمريكية (California Division of highways)، الذي كان أول من أطلق هذا الفحص سنة 1929.

ويمكن تلخيص مبدأ هذا الفحص كما يلي:

يتم غرز أداة قياسية أسطوانية الشكل (مكبس) في التربة وبسرعة محددة، ومن خلال العلاقة بين قوة الغرز أو مقاومة الغرز وقيمة الغرز (المسافة) (Load-Penetration relationship) يمكن إيجاد قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR).

وتعرف قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR-value) بأنها النسبة بين الأحمال اللازمة لغرز المكبس الأسطواني (مساحته 3 انش مربع) مسافة معينة داخل عينة مدموكة من التربة لها رطوبة وكثافة معينتين، وبين الأحمال القياسية

اللازمة لغرز المكبس لنفس العمق في عينة قياسية من الأحجار المكسرة
(Crushed stone)، أي أن:

$$\text{نسبة تحمل كاليفورنيا} = \frac{\text{الحمل الذي لزم لإحداث قيمة الغرز}}{\text{الحمل القياسي لإحداث هذا الغرز}} \times 100\%$$

في عينة من مادة قياسية

وأما قيمة الأحمال القياسية (Standard loads) لقيم الغرز المختلفة فهي موضحة في الجدول (1-8) أدناه .
وبما أن قيمة تحمل كاليفورنيا تلزم للتربة المدموكة، فإن الفحص في المختبر يجري على عينة التربة بعد إيصالها إلى نسبة الدمك المطلوبة، أي عندما تكون لها كثافة مشابهة لكثافة التربة المطلوبة بعد دمكها، وكذلك، عند نفس محتوى الرطوبة (محتوى الرطوبة المثالي). ولهذا، فإن فحص الدمك لعينة معينة من التربة يسبق فحص نسبة تحمل كاليفورنيا لها، لأنه يعطي محتوى الرطوبة المثالي (Optimum moisture content) والكثافة الجافة القصوى (Maximum dry density) للتربة.

ويتم تحضير العينات لفحص نسبة تحمل كاليفورنيا داخل قوالب معدنية أسطوانية شبيهة بتلك التي يجري فيها تحضير العينات لفحص الدمك (مقاسات القالب حسب مواصفات الجمعية الأمريكية للطرق AASHTO هي قطر مساو لـ 6 انش وارتفاع 7 انش)، ويمكن استعمال القوالب المستعملة في فحص الدمك لتحضير عينة فحص نسبة تحمل كاليفورنيا، وذلك بدمك

التربة حسب عدد الطبقات والضربات وباستعمال المطارق المختلفة كما هو موضح في الجدول (2-8) أدناه.

جدول (1-8) العلاقة بين الأحمال القياسية وقيم الغرز في فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

الاجهاد		الحمل		الغرز	
كيلو باسكال	(باوند/انش مربع)	باوند	كيلونيوتن	انش	ملمتر
			11.50		2
6895	(1000)	(3000)	13.24	(0.1)	2.5
			17.60		4
10324	(1500)	(4500)	19.96	(0.2)	5
			22.20		6
			26.30		8
			30.30		10
			33.50		12

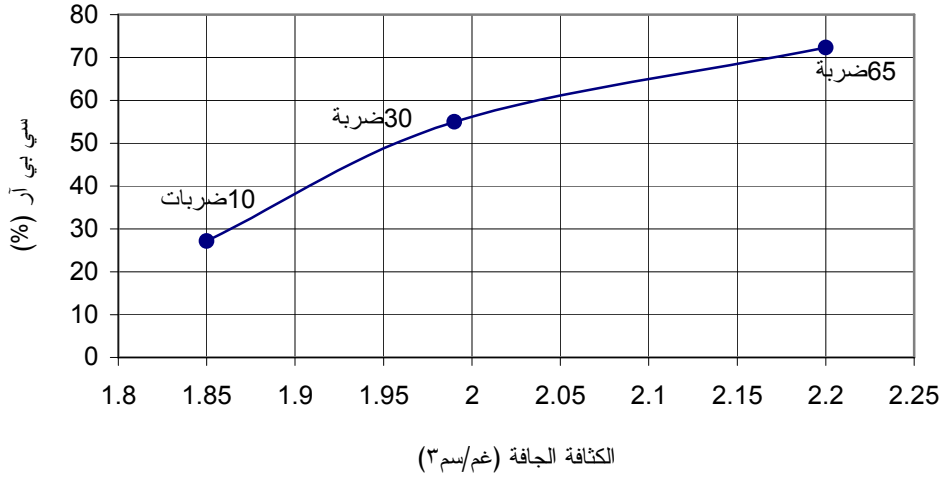
جدول (2-8) طرق تحضير العينات لفحص نسبة تحمل كاليفورنيا

عدد الضربات	عدد الطبقات	المطرقة المستعملة	نوع الدمك
62	3	2.5 كغم	1- الدمك القياسي حسب المواصفات البريطانية (BS 1377- Test No. 12)
62	5	4.5 كغم	2- الدمك المعدل حسب المواصفات البريطانية (BS 1377- Test No. 13)
56	3	5.5 باوند	3- الدمك القياسي حسب المواصفات الأمريكية (ASTM D-698) (AASHTO T-90)
56	5	10.0 باوند	4- الدمك المعدل حسب المواصفات الأمريكية (ASTM D-1557) (AASHTO T-180)

ونشير هنا، إلى أنه وبعد تحضير عينات التربة داخل القوالب يجري غمرها في الماء (Soaking) لمدة 96 ساعة حسب مواصفات (AASHTO) وذلك للتربة التي تحتوي نسبة من الطين، بينما من الممكن أن تقتصر هذه الفترة على 24 ساعة للتربة الحصوية التي يرشح منها الماء بشكل أسرع. ويجري أثناء الغمر قياس قابلية العينة للانتفاخ (Swelling)، حيث يمكن إيجاد نسبة الانتفاخ للعينة في قالب (AASHTO) القياسي من العلاقة:

$$\text{نسبة الانتفاخ} = \frac{\text{التغيير في الطول (انش) خلال الغمر}}{4.584 \text{ انش}} \times 100\%$$

ويقتصر غمر العينات في الماء على المواصفات الأمريكية لهذا الفحص، فيما تخلو المواصفات البريطانية من هذه الخطوة. كما نشير كذلك، إلى أنه يتم أحياناً تحضير ثلاثة قوالب من العينة الواحدة محضرة باستعمال جهد دمك مختلف لكل منها، لدراسة سلوكها عند كثافات مختلفة، بحيث تدمك القوالب على طبقات كما هو في الجدول (8-2)، ولكن باستعمال عدد (10) ضربات لكل طبقة لأحد القوالب، و(30) ضربة لكل طبقة للقالب الثاني و(65) ضربة لكل طبقة للقالب الثالث. ويمكن بعد إيجاد نسبة كاليفورنيا لكل قالب رسم علاقة بين الكثافة الجافة وقيمة نسبة تحمل كاليفورنيا للعينة الموجودة فيه كما هو موضح في الشكل (8-1) أدناه.



شكل (1-8) - مثال للعلاقة بين الكثافة الجافة للتربة ونسبة تحمل كاليفورنيا

وأخيراً، نشير إلى القيمة العملية لهذا الفحص، فهو:

- (1) يُساعد في الحكم على قابلية عمل طبقة التربة كطبقة أساس أو أساس مساعد في الطريق، والجدول (3-8) من المرجع /8/ يوضح ذلك.
- (2) يُساعد في تصميم سُمك رصفة الطريق (Pavement thickness)، وتوجد لهذا الغرض منحنيات خاصة. ونورد هنا على سبيل المثال منحنيات سلاح المهندسين الأمريكي (Corps of Engineers) للعلاقة بين قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا وسُمك رصفة الطريق (شكل 2-8)، والمنحنيات مقتبسة من المرجع /19/.

جدول (3-8) تقييم نتائج فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

تصنيف التربة		الاستعمال	التقدير	قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (%)
حسب نظام (AASHTO)	حسب النظام الموحد (USCS)			
A5, A6, A7	OH, CH, MH, OL	طبقة التأسيس (Subgrade)	ضعيف جداً	3-0
A4, A5, A6, A7	OH, CH, MH, OL	طبقة التأسيس	ضعيف إلى معتدل	7-3
A2, A4, A6, A7	OH, CL, ML, SC, SM, SP	أساس مساعد (Sub-base)	معتدل	20-7
A-1-b, A-2-5, A3, A-2-6	GM, GC, SW, SM, SP, GP	أساس (Base course) أساس مساعد	جيد	50-20
A-1-a, A-2-4, A4	GW, GM	أساس	ممتاز	50<

وفي الجدول التالي (4-8) نورد قيم نسبة تحمل كاليفورنيا لطبقات الطرق المختلفة حسب متطلبات مواصفات أعمال الطرق في فلسطين والاردن، حيث يغلب استعمال نواتج الكسارات من الحجر الكلسي الطري إلى متوسط القساوة (Soft to medium hard limestone) في طبقات الأساس والأساس المساعد.

جدول (4-8) المواصفات المطلوبة لنسبة تحمل كاليفورنيا
لطبقات الطرق في فلسطين والاردن

النسبة كاليفورنيا (%)	الطبقة
8 حداً أدنى	طبقة التأسيس (Subgrade)
40 حداً أدنى	أساس مساعد (Sub-base course)
80 حداً أدنى	أساس (Base course)

شكل (2-8) - العلاقة بين قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا وسُمك رصفة الطريق حسب سلاح
المهندسين الأمريكي

2-8 فحص نسبة تحمل كاليفورنيا - سي بي آر (California Bearing Ratio-CBR Test)

(1) المراجع القياسية (Standard references):

- BS 1377
- ASTM D - 1883
- AASHTO T-193

ملاحظة : سيرتكز عرضنا لهذا الفحص على المواصفات الأمريكية.

(2) الأجهزة اللازمة (Equipment):

- أ- قوالب سي بي آر (CBR moulds).
- ب- قرص معدني مُباعِد (Spacer disc) قطره أصغر قليلاً من قطر القالب. وفي حالة استعمال القوالب ذات القطر 7 انش، يكون القرص المباعِد ذا ارتفاع 2.416 انش للحصول على عينة داخل القالب ارتفاعها 4.584 انش.
- ت- مطرقة (Rammer) لدمك التربة (أنظر جدول 2-8).
- ث- أدوات لقياس انتفاخ التربة، وتتكون من ثلاثي قوائم (Tripod) معدني يرتكز إليه عداد مدرج (Dial gauge) لقياس التشوّه، وقاعدة مخرّمة معدنية (Perforated plate).
- ج- أوزان مؤلفة من حلقات معدنية متقوية من الوسط مجموع أوزانها حوالي 4.54 كيلو غراماً، وحلقات متقوية من الوسط ومفتوحة من الجانب وزن كل واحدة حوالي 2.27 كيلو غراماً.

- ح- عمود أو مكبس اختراق (Penetration piston) قطره 49.63 ملمتراً وطوله 101.6 ملمتراً على الأقل (مساحة مقطع المكبس = 1935 ملمتراً مربعاً).
- خ- هيكل تحميل (Loading frame) خاص بقدرة لا تقل عن 44.5 كيلو نيوتن، وله رأس متحرك أو قاعدة متحركة بسرعة منتظمة مقدارها 1.27 ملمتراً الدقيقة.
- د- وعاء غمر (Soaking tank) له ارتفاع كاف للمحافظة على منسوب الماء حوالي 1 انش فوق سطح القوالب عند غمرها.
- ذ- فرن تجفيف (Drying oven).
- ر- أدوات مختلفة مثل السكاكين وورق الترشيح والموازين وغيرها.

(3) الطريقة (Procedure):

- 1- تحضر العينة كما هو مذكور في طريقة الدمك القياسي أو المعدل وتدمك في القالب على طبقات كما هو موضح في الجدول (2-8). وإذا كانت المادة تمر من المنخل 3/4 انش (20ملمتراً) تدمك العينة كما هي دون تعديل، وإذا تبقى جزء منها على المنخل 3/4 انش يتم استبدال هذا الجزء بكمية مساوية تمر من منخل 3/4 انش وتتبقى على منخل رقم 4 (4.75 ملمتر).
- 2- يتم تحديد محتوى الرطوبة المثالي (Optimum moisture content) للعينة (إذا لم يكن معروفاً) بطريقة الدمك القياسي أو المعدل حسب المطلوب.
- 3- إذا كان المطلوب تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) عند أقصى كثافة جافة (Maximum dry density) ومحتوى الرطوبة المثالي، يتم

دمك العينات في القالب عند محتوى الرطوبة المثالي وباستعمال طريقة الدمك القياسي أو المعدل. وإذا كان المطلوب هو تحديد CBR عند محتوى الرطوبة المثالي ونسبة مئوية معينة من الكثافة الجافة القصوى، يتم دمك ثلاث عينات عند محتوى الرطوبة المثالي مع استعمال طريقة الدمك القياسي، وتغير الضربات لكل عينة حتى يتم الحصول على الكثافة الجافة المطلوبة. فمثلاً، إذا أردنا نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) لتربة مدموكة إلى 90% من كثافتها الجافة القصوى، نستعمل عدداً من الضربات مقداره 10، 30، 65 ضربة لكل طبقة للعينات الأولى والثانية والثالثة على التوالي، ويتم تحديد (CBR) لكل عينة على حدة.

4- إذا كان المطلوب هو تحديد (CBR) عند عدة محتويات للرطوبة يتم تحضير عينات عند محتويات رطوبة مختلفة كالتي تجري لرسم منحنى العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة الجافة، ويتم رسم المنحنى، كما يتم إجراء فحص الاختراق لتحديد (CBR) لكل عينة. بالإضافة إلى ذلك يتم رسم العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة لعينات محضرة على 30 ضربة، وعينات على 10 ضربات، ويتم إجراء فحص الاختراق وتحديد (CBR) لكل عينة.

5- يتم تجميع القالب مع القاعدة، كما يدخل القرص المباعِد (Spacer disc) فوق القاعدة، ثم توضع ورقة ترشيح فوق القرص وتدمك العينة في القالب فوق ورقة الترشيح. بعد الدمك يتم رفع غطاء القالب (Collar) وتسوية سطح العينة مع حواف القالب باستعمال الحرف الحاد (Straight edge)، ثم يتم ملء الفراغات الكبيرة الناتجة عن خروج الأحجار أثناء تسوية السطح بمواد أصغر.

- 6- يتم فك قاعدة القالب والقرص المبعاد وتوزن العينة مع القالب.
- 7- توضع ورقة ترشيح على القاعدة ويوضع القالب مقلوباً مع العينة عليها، ويثبت القالب بالقاعدة بحيث تلامس العينة ورقة الترشيح.
- 8- توضع الأوزان فوق القرص المنقب (القاعدة المخرمة المعدنية) وتنزل برفق فوق العينة. وتوضع مجموعة أوزان بحيث تكون معادلة لوزن الرصفة ولا يقل وزنها عن 10 باوند (4.54كغم) حتى ولو لم يكن هناك رصفة.
- 9- بعد دمك كل قالب، يتم غمره بالماء مع السماح للماء بالوصول إلى سطح العينة وأسفلها، وتؤخذ قياسات أولية للانتفاخ، وتترك العينة لمدة (96) ساعة مع بقاء سطح الماء ثابتاً (حوالي انش واحد فوق سطح القالب). ويمكن أن تقتصر فترة الغمر على 24 ساعة للمواد الخشنة أو إذا تبين أن هذا لن يؤثر على نتائج الفحص. وبعد انتهاء فترة الغمر تؤخذ قراءات الانتفاخ ثانية وتؤخذ النسبة المئوية للانتفاخ كنسبة مئوية من الارتفاع الأصلي للعينة.
- 10- تخرج العينة بعد الغمر وتترك مدة (15) دقيقة دون إحداث اضطراب للعينة، ويمكن إمالة القالب لتصريف ماء السطح.
- 11- ترفع الأوزان والقاعدة وورقة الترشيح ويؤخذ وزن القالب والعينة.
- 12- بعد وزن العينة، توضع الأوزان ثانية فوقها تمهيداً لفحص الاختراق ويتم وضع نفس الأوزان التي كانت فوق العينة أثناء غمرها بالماء. ولمنع خروج التربة من فتحة الأوزان أثناء الاختراق، يوضع الوزن على سطح العينة قبل وضع مكبس الاختراق ثم توضع بقية الأوزان.
- 13- يتم التأثير بحمل صغير على العينة (بواسطة مكبس الاختراق) لا

يزيد عن (44) نيوتن. بعدها يتم تصفير عدادات قراءة الحمل والاختراق. ويتم اعتبار هذا الحمل صفراً عند إيجاد علاقة الحمل والاختراق.

14- يتم التأثير بالأحمال بحيث تكون سرعة التحميل (الاختراق) 1.27 ملمتراً في الدقيقة، ونسجل الأحمال عند اختراق (0.64) (1.29) (3.18) (3.81) (4.45) (5.08) (7.62) (10.16) (12.7) ملمتر.

15- بعد الاختراق، يتم إخراج العينة من القالب، وتؤخذ عينة على عمق انش واحد ويتم تحديد محتوى رطوبتها.

(4) الحسابات (Calculations) :

أ. يحسب الإجهاد لكل نقطة اختراق ويُرسم منحنى الإجهاد والاختراق (Load- Penetration curve). إذا كانت بداية المنحنى مقعرة للأعلى نتيجة عدم استواء سطح العينة، يتم عمل تصحيح (Correction) للمنحنى بعمل امتداد للجزء المستقيم ليلقي محور السينات في نقطة يتم اعتبارها نقطة الصفر.

ب. بعد التصحيح يتم إيجاد الإجهادات المقابلة لقيم الاختراق (2.5) ملمتراً و (50) ملمتراً، ويقسم ذلك الإجهاد على الأحمال القياسية المقابلة لقيم الاختراق هذه (أنظر جدول 8-1)، وتكون هذه النتائج هي نسبة تحمل كاليفورنيا. وتكون النسبة على الحمل الأقل هي المعتمدة وتكون عادة هي الأعلى. ولكن إذا وجد أن الثانية (أي عند الاختراق الأكبر والحمل الأكبر) قيمتها أكبر تتم إعادة

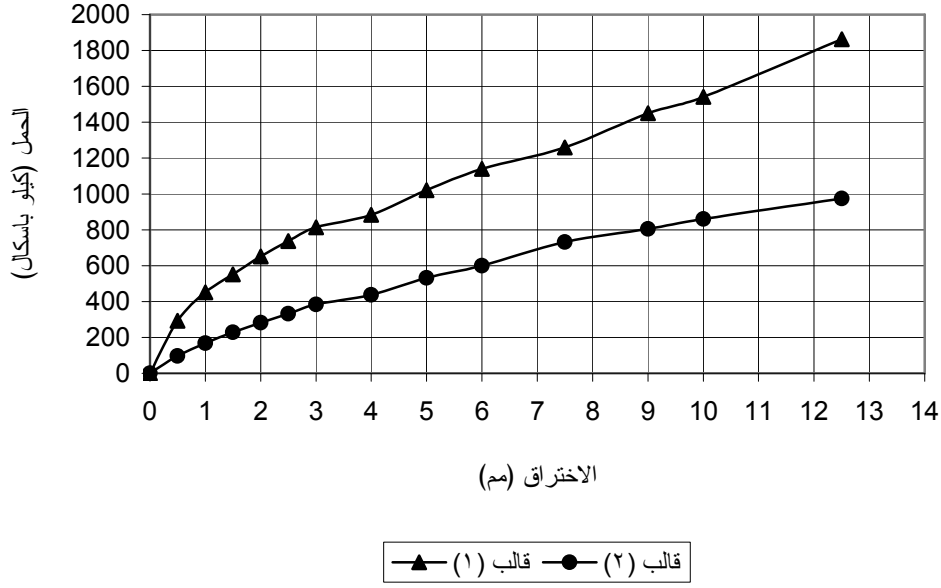
الفحص، فإذا تأكد أن النسبة على الاختراق الأعلى أكبر من تلك المحسوبة للاختراق الأصغر تؤخذ القيمة الأكبر.

ويبين النموذج (8-1) مثلاً لحسابات ونتائج فحص نسبة تحمل كاليفورنيا.

نموذج (1-8)

قالب رقم (2)	قالب رقم (1)	الاختراق (مم)
جهد الاختراق (كيلو باسكال)	جهد الاختراق (كيلو باسكال)	
0.00	0.00	0.00
97	293	0.5
167	452	1.0
229	552	1.5
282	651	2.0
332	737	2.5
384	813	3.0
437	883	4.0
531	1020	5.0
600	1140	6.0
731	1260	7.5
804	1450	9.0
860	1541	10.0
974	1863	12.5

21.5 (%)	14.9	محتوى الرطوبة
2.00 (غم/سم ³)	1.992	الكثافة الرطبة
1.647 (غم/سم ³)	1.734	الكثافة الجافة



شكل (3-8) منحنى العلاقة بين الاجهاد والاختراق من نتائج النموذج (1-8)

ملخص النتائج من المنحنى أعلاه

سي بي آر عند اختراق 5.0 ملم = الجهد عند اختراق 5.0 ملم ÷ الجهد القياسي عند اختراق 5.0 ملم (10324 كيلو باسكال - جدول 1-8) x 100 %	سي بي آر عند اختراق 2.5 ملم = الجهد عند اختراق 2.5 ملم ÷ الجهد القياسي عند اختراق 2.5 ملم 6895 كيلو باسكال - جدول 1-8) x 100 %	الحمل عند اختراق مقداره:		رقم القالب
		5.0 ملم	2.5 ملم	
10	11	1020	737	1
5	5	531	332	2

تُعمد قيمة سي بي آر = 11 للقالب (1) و = 5 للقالب (2).

والتضاغط هو عملية تقارب الحبيبات الصلبة للتربة من بعضها أكثر خلال فترة زمنية وتحت تأثير إجهادات متزايدة. وتترافق هذه العملية مع خروج الماء من الفراغات الموجودة في التربة.

2-5 نظرية التضاغط المحوري للتربة (One-Dimensional Consolidation Theory)

كان البروفيسور كارل ترزاجي (K.Terzaghi) أول من بدأ البحث عن كل ما هو متعلق بالتضاغط طويل الأمد (Long-term consolidation) للتربة الطينية، وذلك في كتابه الشهير بالألمانية (Erdbaumechnik) أي هندسة التربة. وهو كتاب صدر للمرة الأولى في فيينا سنة 1925. وقد تابع العلماء جهود ترزاجي في هذا المجال، وكان أهمهم البروفيسور نيكولاي غيرسيفانوف (N. Gersevanov) بأبحاثه المنشورة بين عامي 1931-1948، والبروفيسور فلاديمير فلورين (V.Florin) بأبحاثه المنشورة بين عامي 1937-1961.

وقد عرض ترزاجي في بحثه المذكور، المدخل النظري لعملية التضاغط، وكذلك الجهاز الذي قام بتصميمه لدراسة هذه الظاهرة، والذي أطلق عليه اسم اودوميتر (Oedometer)، وهي كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية (Oidema) ومعناها الانتفاخ (Swelling). وسنكتفي هنا بتوضيح بعض الأمور المتعلقة بنظرية التضاغط، دون الخوض في تفاصيلها الرياضية، حتى لا نخرج عن إطار الكتاب.

5-2-1 أساس نظرية التضاغط

من المعروف أن التربة تتكون من حبيبات صلبة (Solid particles) تتواجد بينها فراغات (Voids) تكون مملوءة بالغاز (الهواء غالباً)، أو الماء، أو كليهما معاً على شكل مزيج. وعندما تتعرض التربة لإجهاد ضغط، فإن حجمها ينقص، ويكون هذا النقص بالنسبة للتربة الطينية المشبعة بالماء راجعاً إلى أحد العوامل الثلاثة التالية:

- أ. انضغاط الحبيبات الصلبة (Compression of solid particles)،
- ب. انضغاط الماء الموجود بين الحبيبات (Compression of water in voids)،
- ت. "فرار" أو إفلات الماء من الفراغات (Escape of water from voids).

وبما أن تأثير العامل الأول (أ) للتربة غير العضوية ضئيل الاحتمال، فإن هذا العامل يُهمل في نظرية التضاغط، كما يُهمل العامل الثاني (ب) لأن انضغاط الماء لا يكاد يُذكر. يبقى العامل الثالث (ت)، الذي يقضي بأن تضاغط التربة يحصل كنتيجة لإفلات أو خروج الماء من فراغات التربة تحت تأثير الضغط الخارجي، وهو العامل الذي تركز إليه نظرية التضاغط. وأما تغير الحجم (Volume change) الناتج عن تضاغط التربة، فإنه يتم ببطء، وكذلك الهبوط (Settlement) الناتج عن هذه العملية فإنه يستغرق وقتاً طويلاً في العادة حتى يصل إلى نهايته القصوى، والتي تدعى من الناحية الكمية بالهبوط الحدي (Ultimate settlement).

ولتوضيح ميكانيكية عملية التضاغط، نورد فيما يلي النموذج أو "الموديل" لهذه العملية، كما قدمه ترزاجي وزميله رالف بيك (R. Peck) سنة 1948، وحسب شرح وتفسير د. تايلور (D. Taylor) /7/.

2-2-5 نموذج المكبس والناضض (الزنبرك) (Spring and Piston Analogy)

لنفرض أن الوعاء الأسطواناني المبين في الشكل (1-5) له مكبس عديم الاحتكاك (Frictionless piston) وذو وزن لا يذكر، ومساحة سطحه (A) ملمترًا مربعًا، وأنه توجد فتحة للتصريف في المكبس يتم التحكم بها بواسطة مفتاح (Valve).

أ. نفترض أن الاسطوانة مملوءة بالماء، وأن الزنبرك المرن موجود بين المكبس وقاعدة الاسطوانة (شكل 1-5 أ). في البداية تكون هناك حالة إتزان عندما يكون المفتاح مغلقاً ولا يكون هناك أي حمل على المكبس، ولا يكون الزنبرك معرضاً لأي ضغط، ولا يوجد أي ضغط على الماء.
ب. يوضع وزن (200 نيوتن) فوق المكبس (شكل 1-5 ب). يبقى الماء محصوراً دون أن يسمح له بالخروج لأن المفتاح مغلق، لذا لا يتحرك المكبس إلى أسفل وبالتالي لا ينضغط الزنبرك، وتكون القوة المؤثرة إلى أسفل متوازنة مع قوة رد فعل مؤثرة إلى أعلى بسبب ضغط إضافي في الماء هو الضغط الهيدروستاتيكي (Hydrostatic pressure) الذي يساوي $A \div 200$ (نيوتن/ملمترمربع).

ت. في لحظة معينة يُحرر المفتاح ($t = 0$) ويتم تشغيل ساعة التوقيت. عندها يصبح بإمكان الماء الخروج عبر الفتحة ولكن ببطء بسبب صغر فتحة الأنبوب، ويبدأ المكبس بالهبوط ببطء إلى أسفل مسبباً حملاً إضافياً على الزنبرك وأقل منه على الماء (الشكل 1-5 د، ز).

ومع الاستمرار ينضغط الزنبرك إلى الدرجة القصوى (شكل 1-5 ز)، ويصبح حاملاً لكل الحمل. عندها يتلاشى الضغط في الماء (Excess

ويعصل اتران وتتوقف حركة المكبس (شكل 5-1ز). وأما أجزاء الحمل الواقعة على كل من الزنبرك والماء في فترات زمنية مختلفة منذ البداية، فهي مبينة أسفل الشكل (5-1)، إضافة إلى نسبة الإنضغاط النهائي للزنبرك، التي هي نفسها نسبة الحمل الكلي في أية مرحلة. وواضح أنه عندما يحصل الاتزان النهائي، فإن درجة التضاضط تكون 100%، أي أن التضاضط قد انتهى.

5-2-3 الفرضيات الأساسية لنظرية التضاضط (Basic assumptions)

تقوم نظرية التضاضط المحوري للتربة على الفرضيات الأساسية التالية:

- أ. التربة مشبعة تماماً بالماء.
- ب. حبيبات التربة وكذلك الماء غير قابلة للانضغاط.
- ت. هيكل التربة (Soil skeleton) ينضغط فور تأثير الحمل عليه ويحدث له تشوه.
- ث. الحمل المؤثر على التربة ينتقل فوراً ليؤثر على الماء.
- ج. حركة الماء تجري بشكل عمودي فقط.
- ح. ترشح الماء في التربة يخضع تماماً لقانون دارسي (Darcy's law).

شكل (5-1) - نموذج المكبس والزنبرك الذي يوضح مبدأ تضاغط التربة.

5-2-4 الأهمية العملية لدراسة تضاغط التربة

يمكن تلخيص هذه الأهمية بما يلي:

- أ. معرفة مدى قابلية التربة للانضغاط تحت تأثير الأحمال الخارجية، ويعبر عن هذه القابلية معامل الانضغاط الحجمي (Coefficient of volume compressibility) ويرمز له (m_v) ، والذي يقيس الكمية التي تتضغظ إليها التربة تحت تأثير الحمل الخارجي.
- ب. دراسة سلوك التربة وهبوطها تحت تأثير الحمل الخارجي وربط ذلك بعامل الزمن، من خلال معامل التضاغط (Coefficient of consolidation) ويرمز له (C_v) ، والذي يعبر عن سرعة التضاغط (Rate of consolidation)، وكذلك تحديد الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى قيمة الهبوط الكلي (Final settlement).
- ت. تساعد معرفة خصائص التضاغط للتربة الطينية في معرفة نفاذيتها (Permeability).

3-5 فحص التضاغط المحوري للتربة

(One-Dimensional Consolidation Test of Soil)

(1) المراجع القياسية (Standard references):

- BS 1377
- ASTM D-2435
- AASHTO T-216.

ملاحظة: تختلف المراجع القياسية المذكورة أعلاه في طريقة عرضها للفحص، رغم أن المبدأ ثابت لا يتغير. وسيكون عرضنا للفحص هنا مرتكزاً إلى المواصفات البريطانية (BS 1377)، ويشمل هذا الجهاز والطريقة والحسابات. وسنركز إلى المرجع /7/.

(2) الأجهزة اللازمة (Equipment):

- أ. جهاز التضاغط المحوري (Oedometer) - ويتكون بشكل أساسي من صندوق أو خلية التضاغط (Consolidation cell)، وأهم أجزائها:
- حلقة التضاغط (Ring) وقطرها (50) أو (75) ملمتراً وارتفاعها (20) ملمتراً.
 - الصندوق أو جسم الخلية (Cell body).
 - أقراص مُنفذة (Porous discs) عدد (2).
 - قرص تحميل (Loading yoke) عمودي.
 - ذراع أفقي (Beam) ينقل تأثير الأحمال للعينة.
 - مجموعة أحمال (أوزان) (Weights).
- ويبين الشكل (2-5) أهم تفاصيل جهاز التضاغط المحوري.
- ب. سكاكين مختبر خاصة لتحضير العينة (Trimming Knives).
- ت. ساعة توقيت (Watch glass).
- ث. ميزان (Balance).
- ج. أدوات لتحديد محتوى الرطوبة.

(3) الطريقة (Procedure):

- 1- تؤخذ مقاسات حلقة التضاغط (القطر D والارتفاع H) ويؤخذ وزنها فارغة (m_R).
- 2- تحضير العينة - ويقصد بتحضير العينة لفحص التضاغط المحوري عملية إدخال التربة في حلقة التضاغط. وتكون التربة عادة على شكل عينة داخل أنبوب جمع العينات (Tube sampler)، أو كتلة مأخوذة من حفرة اختبارية (Block sample) (أنظر شكل 2-1)، أو عينة معجونة

- (مُعَادَة التَشْكِيل Remoulded sample). ولكن، غالباً ما يكون المطلوب هو عينة سليمة التركيب (Undisturbed sample) وممثلة للتركيب الطبيعي للتربة. ويتم تحضير العينة بوضع حلقة التضاغط فوق التربة (في الأنبوب أو كتلة التربة) بعد تسوية سطحها جيداً، ثم يُعزَز جزء من الحلقة في التربة بقليل من الضغط، وتنظف التربة حول الحلقة من خارجها بالسكين، وتغرَز مقداراً آخر، وهكذا، حتى تتغرَز الحلقة تماماً في التربة. بعدها يتم إخراج الحلقة وما بداخلها، ثم يُسَوَّى سطح التربة في الحلقة من الجهتين مع حواف الحلقة.
- 3- يتم أخذ بعض نواتج القطع أثناء تحضير العينة، وذلك لحساب محتوى الرطوبة للعينة قبل الفحص (W_0 Initial moisture content)، والوزن النوعي لها G_s - أحياناً يتم فرض قيمة الوزن النوعي للتربة حسب نوعها ويُشار لهذا في تقرير نتائج الفحص -.
- 4- يتم تحضير الجهاز والتحقق من أجزائه ووضعه الأفقي.
- 5- يتم إيجاد وزن العينة داخل الحلقة ($m = m_1 - m_R$) حيث m_1 - وزن العينة مع الحلقة، m_R - وزن الحلقة وهي فارغة.
- 6- يتم جمع صندوق أو خلية التضاغط بوضع قرص منفذ داخل الصندوق وفوق العينة داخل الحلقة، ثم قرص منفذ فوق العينة، ثم الغطاء أو قرص التحميل - أنظر الشكل (5-2أ) -.

شكل (5-2) - تفاصيل جهاز التضاغط المحوري
(أ) رسم تخطيطي لخلية (صندوق) التضاغط، (ب) أجزاء الجهاز.

- 7- توضع خلية التضاضط على المكان المخصص لها على الجهاز.
- 8- يُصحح وضع محور التحميل ليكون عمودياً، وكذلك الذراع الأفقي (Beam) ليكون في وضع أعلى قليلاً من الوضع الأفقي. ويتم ضبط الذراع الأفقي بواسطة برغي (Screw) لهذا الغرض.
- 9- يتم تثبيت الساعة المدرجة المخصصة لقياس التشوه في المكان المخصص لها، ويتم وضع مؤشر الساعة على القراءة (صفر).
- 10- تتم إضافة الوزن المطلوب إلى محور التحميل العمودي للحصول على قيمة الإجهاد الابتدائي (Initial pressure) المؤثر على العينة، والتي يجب أن تكون مقاربة لقيمة الضغط أو الإجهاد الذي كان واقعاً على العينة في وضعها الطبيعي قبل استخراجها من الأرض. وهو إجهاد يساوي (γH) حيث γ - كثافة التربة، H - سُمك طبقة التربة الواقعة على النقطة التي استخرجت منها العينة (في حالة التربة التي تتكون من أكثر من طبقة تؤخذ القيمة المتوسطة للكثافة).
- ملاحظة: يجب أن يكون معلوماً لكل جهاز قيمة الوزن الذي تلزم إضافته لمحور التحميل العمودي لإحداث وحدة إجهاد على العينة، أو قيمة الإجهاد إلى سطح العينة الذي ينتج عن إضافة وحدة وزن إلى محور التحميل.
- 11- في حالة إجراء الفحص للعينة المغمورة بالماء، يتم ملء الخلية بماء له درجة حرارة الغرفة (Room temperature)، بحيث يكون القرص المنفذ العلوي مغموراً تماماً. وفي حالة إجراء الفحص للعينة برطوبتها الطبيعية، يتم الانتقال للخطوة التالية، دون غمر.
- 12- يتم تحرير البرغي الذي يرتكز إليه الذراع الأفقي وفي نفس اللحظة تُشغل ساعة التوقيت. يُلاحظ أن ساعة قياس التشوه قد بدأت بالدوران مع تحرير البرغي، أي أن تأثير الحمل على العينة قد بدأ.

13- يتم أخذ قراءات التشوه وتثبيتها في الجدول الخاص بنتائج الفحص (نموذج 5-1أ). وذلك على فترات زمنية محددة (مثلاً بعد 6، 10، 15، 30 ثانية، 1، 2، 4، 8، 15، 30 دقيقة، 1، 2، 4، 8، 24 ساعة)، على أن قراءة الساعة الأولى هي الأكثر أهمية وهي التي يجب أن تؤخذ بشكل دقيق وفي الوقت المحدد بدقة، لأن سرعة الهبوط (التشوه) تكون سريعة في بداية تأثير الحمل.

ملاحظة: يتم الاستمرار بأخذ القراءات طالما هناك زيادة في التشوه. ولا يتم تقرير زيادة الحمل التالي إلا بعد التأكد من توقف التشوه تحت تأثير الحمل الحالي. وعندما يكون الوقت المخصص للفحص كافياً فمن الأفضل زيادة الحمل التالي بعد مرور (24) ساعة على تأثير الحمل الحالي.

14- عند تقرير زيادة الحمل، يتم غلق البرغي ليلاصم الذراع الأفقي مع الحفاظ على القراءة الموجودة على ساعة قياس التشوه، ويضاف الحمل إلى المحور العمودي ثم تعاد الخطوات (12-13)، وهكذا لكل مرحلة تحميل (Loading stage) حتى آخر حمل (أو إجهاد) مطلوب، ويكون الإجهاد قريباً من قيمة الإجهاد المتوقع أن يؤثر على النقطة التي أخذت منها العينة تحت تأثير وزن المبنى أو المنشأ، مضافاً إليه وزن طبقة التربة الواقعة فوق هذه النقطة (γH)، وهي معلومات يطلبها المختبر الذي يقوم بدراسة التربة من المهندس المصمم وتكون في العادة تقريبية.

15- إذا كان مطلوباً دراسة سلوك التربة أثناء رفع الأحمال (Unloading)، يجري تنزيل الأحمال بالتدرج مع أخذ القراءات العكسية اللازمة.

16- بعد هذه العملية يتم توقيف الفحص وفك خلية التضاعط وإخراج العينة (حلقة التضاعط وبداخلها العينة) منها. توزن الحلقة والعينة وليكن وزنها مساوياً (m_2) ، ثم يوجد وزن العينة $(m_p = m_2 - m_R)$.

17- توضع الحلقة وبداخلها العينة في فرن التجفيف حتى ثبات الوزن، وليكن الوزن بعد التجفيف (m_3) ، ومنها نجد وزن العينة الجافة $(m_s = m_3 - m_R)$.

18- يُحسب محتوى الرطوبة للعينة:

$$W_o = \frac{m - m_s}{m_s}$$

ويمكن اعتبار هذه الخطوة بمثابة "تشبيك" على قيمة محتوى الرطوبة التي يتم تحديدها من نواتج القطع أثناء تحضير العينة (خطوة رقم 3).
وأما محتوى الرطوبة النهائي (Final moisture content) بعد الفحص فهو:

$$W_f = \frac{m_f - m_s}{m_s}$$

19- تحليل نتائج الفحص والحسابات التفصيلية والمنحنيات، وهو ما سنتناوله لاحقاً بالتفصيل.

(4) الحسابات (Calculations):

وتقسم إلى الحسابات التي تجري قبل الفحص، وتلك التي تجري بعد انتهائه وكذلك عند نهاية كل مرحلة تحميل.

أ. قبل الفحص:

- مساحة العينة (Area of specimen):

$$A = \pi D^2 \div 4 \text{ (mm}^2\text{)}$$

- الحجم الابتدائي للعينة (Initial volume of specimen):

$$V_o = \frac{AH_o}{1000} \text{ (cm}^3\text{)}$$

جدول موجود في ملف مستقل باسم (ص 209-210))

- محتوى الرطوبة (Moisture content):

$$W_o = \frac{m - m_s}{m_s}$$

- الكثافة (Density):

$$\rho = m \div V_o \quad (\text{g/cm}^3)$$

- الكثافة الجافة (Dry Density):

$$\rho_d = \rho \frac{100}{100 + W_o} \quad (\text{g/cm}^3)$$

- نسبة الفراغات (Voids ratio):

$$e_o = \frac{G_s}{\rho_d} - 1$$

- درجة التشبع بالماء (Degree of saturation):

$$S_o = \frac{W_o G_s}{e_o}$$

- معامل تغير نسبة الفراغات (Voids ratio change factor):

$$F = \frac{1 + e_o}{H_o} \quad (\text{mm}^{-1})$$

ب. بعد الفحص:

- محتوى الرطوبة (Moisture content):

$$W_f = \frac{m_f - m_s}{m_s}$$

- ارتفاع العينة (Height of specimen):

$$W_f = H_o - (\Delta H)_f \quad (\text{mm})$$

حيث $(\Delta H)_f$ - القيمة الكلية للتشوه (الهبوط) حسب القراءة النهائية للساعة المدرجة.

- الكثافة (Density):

$$\rho_f = \frac{m_f}{AH_f} 1000 \quad (\text{g/cm}^3)$$

- الكثافة الجافة (Dry density):

$$\rho_{df} = \rho_f \frac{100}{100 + W_f} \quad (\text{g/cm}^3)$$

- نسبة الفراغات (Voids ratio):

$$e_o = \frac{G_s}{\rho_{df}} - 1$$

- درجة التشبع بالماء (Degree of saturation):

$$S_f = \frac{W_f G_s}{e_f}$$

ت. عند نهاية كل مرحلة تحميل:

- التغيير في نسبة الفراغات (تراكمي) (Voids ratio after an increment):

$$\Delta e = F \cdot \Delta H$$

- نسبة الفراغات بعد زيادة الحمل (Voids ratio after an increment):

$$e_1 = e_o - \Delta e$$

- تغير نسبة الفراغات خلال التحميل

(Voids ratio change during an increment)

$$\delta_e = e_1 - e_2$$

- معامل الانضغاط الحجمي لحمل معين

(Coefficient of volume compressibility)

$$m_v = \frac{\delta_e}{\delta_p} \times \frac{1000}{1 + e_1}$$

- معامل التضغط خلال تحميل معين (Coefficient of consolidation)

$$C_v = \frac{0.026(\bar{H})^2}{t_{50}} \quad (\text{متر مربع/السنة}) \quad (\text{m}^2/\text{year})$$

أو

$$C_v = \frac{0.112(\bar{H})^2}{t_{90}} \quad (\text{متر مربع/السنة}) \quad (\text{m}^2/\text{year})$$

حيث

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (\text{mm})$$

- معامل النفاذية تحت تأثير حمل معين (Coefficient of compressibility)

$$K = C_v m_v \times 0.31 \times 10^{-9} \quad (\text{متر/الثانية}) \quad (\text{m/s})$$

ويبين الجدول (1-5) والشكل (3-5) مثالاً للحسابات التي تجري أثناء مراحل التحميل، ومنحنى العلاقة بين نسبة الفراغات ولوغاريتم الإجهاد (e-log P curve) وذلك حسب المعطيات الواردة في النموذج (1-5).

(5) تحليل منحنيات الهبوط - الزمن

:(Analysis of settlement- time curves)

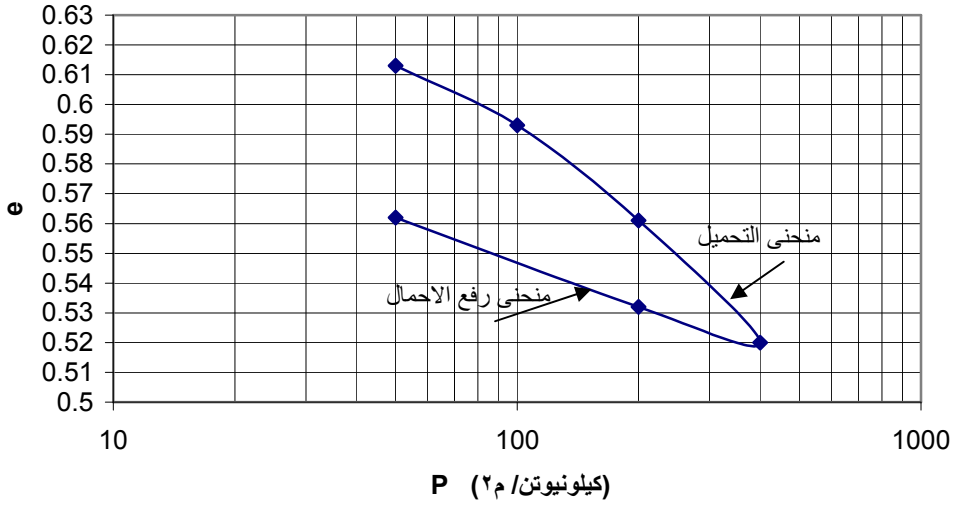
يجري تحليل نتائج فحص التضغط من خلال منحنيات العلاقة بين قيم التشوه أو الهبوط (حسب القراءات المسجلة أثناء الفحص) والزمن.

ويهدف التحليل إلى إيجاد قيمة معامل التضاغط (C_v)، وكذلك درجة التضاغط (Degree of consolidation) أثناء المراحل المختلفة للتحميل. ودرجة التضاغط هي النسبة المئوية لتبدد ضغط الماء المسامي (Pore-water pressure).

ولتحليل المنحنيات المذكورة، تستعمل طريقتان تجريبيتان (Empirical methods) هما طريقة الجذر التربيعي للزمن (Square root -time) وطريقة لوغاريتم الزمن (Log time)، ويجري الحساب عادة بالطريقتين، إلا إذا وجد أن استعمال إحداهما يفي بالغرض.

جدول (1-5) - الحسابات لرسم منحنى (e - log P)

معامل التضاضط					التضاضط الحجمي				نسبة الفراغات				رقم مرحلة التحميل
$C_v = (0.026 \times \bar{H}^2) \div t_{50}$ (م/السنة)	$(\bar{H})^2$ (م)	$\bar{H} = H_1 + H_2 \div 2$ (م)	$H = H_0 - \Delta H$ (م)	t_{50}	$m_v = (\delta e \div \delta p) \div \{(1000 \div (1 + e_1))\}$ (م كيلونيوتن ²)	$(1 + e_1)$	δp	δe	$e_1 = e_0 - \Delta e$ ($e_0 = 0.622$)	$\Delta e = F \cdot \Delta H$ ($F = 0.0807$)	الهبوط (ΔH) (م)	الإجهاد (P) (كيلونيوتن/م ²)	
-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	0	-
0.804	402	20.05	19.99	13	1.107	1.613	50	0.0086	0.613	0.0086	0.106	50	1
1.63	395	19.87	19.74	6.3	0.251	1.593	50	0.020	0.591	0.0291	0.360	100	2
0.432	382	19.54	19.34	23	0.205	1.561	100	0.032	0.561	0.0615	0.762	200	3
0.498	364	18.83	18.83	19	0.135	1.520	200	0.041	0.520	0.1024	1.269	400	4
-	-	-	-	-	-	-	200-	0.012-	0.532	0.0902	1.118	200	5
-	-	-	-	-	-	-	150-	0.032-	0.562	0.0598	0.741	50	6



شكل (3-5)

أ. طريقة الجذر التربيعي للزمن (Square root-time method) :

وتنسب هذه الطريقة للبروفيسور تايلور (Taylor) الذي اقترحها للمرة الأولى سنة 1942. وتتلخص الطريقة بما يلي:

- يتم رسم منحنى العلاقة بين الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{t}) وقيم التشوه أو الهبوط، وذلك لكل مرحلة من مراحل التحميل (شكل 5-4).

- يُرسم خط مستقيم يصل بين نقاط المنحنى الواقعة على نفس الخط (BQ)، ويكون هذا الخط مماساً للمنحنى، ويقطع المحور الرأسي الذي يمثل الهبوط في النقطة (Q) التي يتم اعتبارها نقطة الصفر المصححة (Corrected Zero point).

- يُرسم خط أفقي مواز لمحور (\sqrt{t}) من نقطة الصفر المصححة، ويكون هذا الخط ممثلاً لدرجة التضاضط المساوية صفر (U=صفر).

- تؤخذ أي نقطة اختيارية على الخط المماس للمنحنى (q) ويتم الابتعاد عنها بمقدار (1.15) من أحداثها الأفقي للحصول على نقطة أخرى (r).

- يتم توصيل النقطتين (r) و (Q) ونحصل على النقطة (C) التي تقطع المنحنى. يكون الخط الأفقي من (C) ممثلاً لدرجة التضاضط (U=90%).

- للحصول على النقطة التي تمثل (U=100%)، ويتم تقسيم المسافة بين (d_0) و (d_{90}) إلى تسعة أقسام متساوية ويضاف قسم بنفس القياس للحصول على نقطة (U=100%) واستكمال محور قياس (U).

- يتم حساب قيمة معامل التضاضط (C_v) بإحدى المعادلتين:

$$C_v = \frac{0.112(\bar{H})^2}{t_{90}}, t_{90} = (\sqrt{t_{90}})^2$$

$$\text{أو } C_v = \frac{0.026(\bar{H})^2}{t_{50}}, t_{50} = (\sqrt{t_{50}})^2$$

شكل (4-5) - منحنى طريقة الجذر التربيعي للزمن

حيث (H) - ارتفاع العينة اثناء التحميل (أنظر الجدول 1-5).

ب. طريقة لوغاريتم الزمن (Log-time method):
وتنسب هذه الطريقة إلى البروفيسور كازاغراندي (Casagrande) الذي اقترحها
لأول مرة. وتتلخص الطريقة بما يلي:

- يتم رسم منحنى العلاقة بين الزمن بالمقياس اللوغاريتمي (Log scale) والتشوه أو الهبوط، وذلك لكل مرحلة من مراحل التحميل (شكل 5-5).
 - تؤخذ نقطتان اختياريتان على المنحنى بحيث يكون الفرق في الزمن بين الأولى والثانية أربعة أضعاف (النقاط a و b على المنحنى)، وتؤخذ مسافة رأسية من النقطة a (a d) مساوية لقيمة الضلع (a c) من المثلث (a b c) وعلى امتدادها. ويكون الخط الأفقي من (d) الموازي لمحور (Log t) ممثلاً لدرجة التضاضط (U = صفر).
 - للحصول على درجة التضاضط (U = 100%) يتم استعمال الجزء السفلي من المنحنى عند بداية تغير اتجاهه، والذي يظهر عادة عند (U = 75%)، حيث يرسم خط من نقطة الانعطاف يكون مماساً للجزء الأوسط من المنحنى (الخط AB)، ويرسم خط آخر مماس للجزء الأخير من المنحنى (الخط DF)، وعند نقطة تقاطع المماسين تكون (U = 100%).
 - للحصول على تدرج محور قياس درجة التضاضط (U)، ونقسم المسافة بين (d₀) و (d₁₀₀) إلى عشرة أجزاء متساوية.
 - تحسب قيم معامل التضاضط (C_v) بإحدى المعادلتين:

$$C_v = \frac{0.112(\bar{H})^2}{t_{90}}, C_v = \frac{0.026(\bar{H})^2}{t_{50}} \text{ أو}$$
- ويظهر في الشكلين (5-6) و (5-7) المنحنيان اللذان يمثلان نتائج فحص التضاضط للمثال الموضح في النموذج (5-1)، وذلك لمرحلة التحميل الثالثة، وحسب طريقتي الجذر التربيعي للزمن ولوغاريتم الزمن.

الباب الثامن | فحوصات نسبة تحمل كاليفورنيا

(California Bearing Ratio-CBR Test)

1-8 مدخل (Introduction)

يعتبر فحص نسبة تحمل كاليفورنيا واحداً من الفحوصات الهامة التي تجري للتربة في هندسة الطرق.

ويرمي هذا الفحص إلى معرفة قابلية التربة لأن تكون طبقة أساس للطريق (Base) أو أساس مساعد (Sub-base) أو غيرها من الطبقات التي تتكون منها أي طريق.

وقد جاءت تسمية هذا الفحص نسبة إلى قسم الطرق في ولاية كاليفورنيا الأمريكية (California Division of highways)، الذي كان أول من أطلق هذا الفحص سنة 1929.

ويمكن تلخيص مبدأ هذا الفحص كما يلي:

يتم غرز أداة قياسية أسطوانية الشكل (مكبس) في التربة وبسرعة محددة، ومن خلال العلاقة بين قوة الغرز أو مقاومة الغرز وقيمة الغرز (المسافة) (Load-Penetration relationship) يمكن إيجاد قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR).

وتعرف قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR-value) بأنها النسبة بين الأحمال اللازمة لغرز المكبس الأسطواني (مساحته 3 انش مربع) مسافة معينة داخل عينة مدموكة من التربة لها رطوبة وكثافة معينتين، وبين الأحمال القياسية

اللازمة لغرز المكبس لنفس العمق في عينة قياسية من الأحجار المكسرة (Crushed stone)، أي أن:

$$\text{نسبة تحمل كاليفورنيا} = \frac{\text{الحمل الذي لزم لإحداث قيمة الغرز}}{\text{الحمل القياسي لإحداث هذا الغرز}} \times 100\%$$

في عينة من مادة قياسية

وأما قيمة الأحمال القياسية (Standard loads) لقيم الغرز المختلفة فهي موضحة في الجدول (1-8) أدناه .
وبما أن قيمة تحمل كاليفورنيا تلزم للتربة المدموكة، فإن الفحص في المختبر يجري على عينة التربة بعد إيصالها إلى نسبة الدمك المطلوبة، أي عندما تكون لها كثافة مشابهة لكثافة التربة المطلوبة بعد دمكها، وكذلك، عند نفس محتوى الرطوبة (محتوى الرطوبة المثالي). ولهذا، فإن فحص الدمك لعينة معينة من التربة يسبق فحص نسبة تحمل كاليفورنيا لها، لأنه يعطي محتوى الرطوبة المثالي (Optimum moisture content) والكثافة الجافة القصوى (Maximum dry density) للتربة.

ويتم تحضير العينات لفحص نسبة تحمل كاليفورنيا داخل قوالب معدنية أسطوانية شبيهة بتلك التي يجري فيها تحضير العينات لفحص الدمك (مقاسات القالب حسب مواصفات الجمعية الأمريكية للطرق AASHTO هي قطر مساو لـ 6 انش وارتفاع 7 انش)، ويمكن استعمال القوالب المستعملة في فحص الدمك لتحضير عينة فحص نسبة تحمل كاليفورنيا، وذلك بدمك

التربة حسب عدد الطبقات والضربات وباستعمال المطارق المختلفة كما هو موضح في الجدول (2-8) أدناه.

جدول (1-8) العلاقة بين الأحمال القياسية وقيم الغرز في فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

الاجهاد		الحمل		الغرز	
كيلو باسكال	(باوند/انش مربع)	باوند	كيلونيوتن	انش	ملمتر
			11.50		2
6895	(1000)	(3000)	13.24	(0.1)	2.5
			17.60		4
10324	(1500)	(4500)	19.96	(0.2)	5
			22.20		6
			26.30		8
			30.30		10
			33.50		12

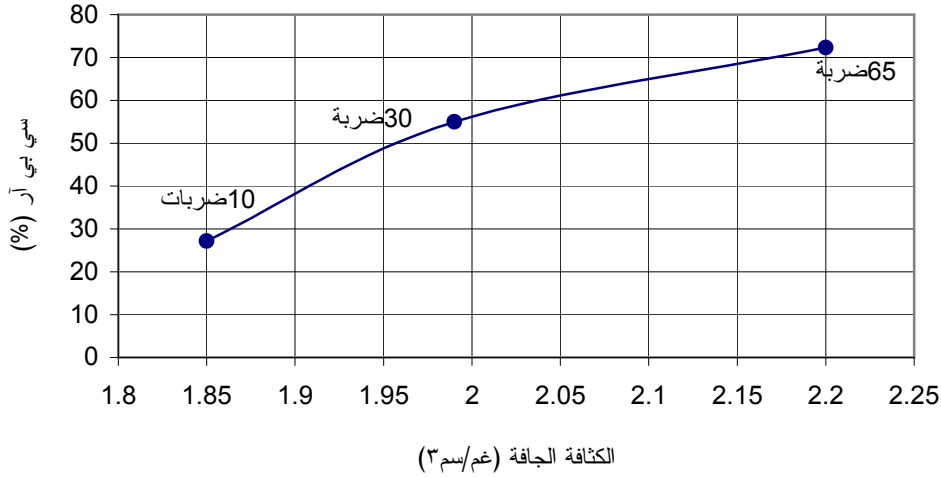
جدول (2-8) طرق تحضير العينات لفحص نسبة تحمل كاليفورنيا

عدد الضربات	عدد الطبقات	المطرقة المستعملة	نوع الدمك
62	3	2.5 كغم	1- الدمك القياسي حسب المواصفات البريطانية (BS 1377- Test No. 12)
62	5	4.5 كغم	2- الدمك المعدل حسب المواصفات البريطانية (BS 1377- Test No. 13)
56	3	5.5 باوند	3- الدمك القياسي حسب المواصفات الأمريكية (ASTM D-698) (AASHTO T-90)
56	5	10.0 باوند	4- الدمك المعدل حسب المواصفات الأمريكية (ASTM D-1557) (AASHTO T-180)

ونشير هنا، إلى أنه وبعد تحضير عينات التربة داخل القوالب يجري غمرها في الماء (Soaking) لمدة 96 ساعة حسب مواصفات (AASHTO) وذلك للتربة التي تحتوي نسبة من الطين، بينما من الممكن أن تقتصر هذه الفترة على 24 ساعة للتربة الحصوية التي يرشح منها الماء بشكل أسرع. ويجري أثناء الغمر قياس قابلية العينة للانتفاخ (Swelling)، حيث يمكن إيجاد نسبة الانتفاخ للعينة في قالب (AASHTO) القياسي من العلاقة:

$$\text{نسبة الانتفاخ} = \frac{\text{التغيير في الطول (انش) خلال الغمر}}{4.584 \text{ انش}} \times 100\%$$

ويقتصر غمر العينات في الماء على المواصفات الأمريكية لهذا الفحص، فيما تخلو المواصفات البريطانية من هذه الخطوة. كما نشير كذلك، إلى أنه يتم أحياناً تحضير ثلاثة قوالب من العينة الواحدة محضرة باستعمال جهد دمك مختلف لكل منها، لدراسة سلوكها عند كثافات مختلفة، بحيث تدمك القوالب على طبقات كما هو في الجدول (8-2)، ولكن باستعمال عدد (10) ضربات لكل طبقة لأحد القوالب، و(30) ضربة لكل طبقة للقالب الثاني و(65) ضربة لكل طبقة للقالب الثالث. ويمكن بعد إيجاد نسبة كاليفورنيا لكل قالب رسم علاقة بين الكثافة الجافة وقيمة نسبة تحمل كاليفورنيا للعينة الموجودة فيه كما هو موضح في الشكل (8-1) أدناه.



شكل (1-8) - مثال للعلاقة بين الكثافة الجافة للتربة ونسبة تحمل كاليفورنيا

وأخيراً، نشير إلى القيمة العملية لهذا الفحص، فهو:

- (1) يُساعد في الحكم على قابلية عمل طبقة التربة كطبقة أساس أو أساس مساعد في الطريق، والجدول (3-8) من المرجع /8/ يوضح ذلك.
- (2) يُساعد في تصميم سُمك رصفة الطريق (Pavement thickness)، وتوجد لهذا الغرض منحنيات خاصة. ونورد هنا على سبيل المثال منحنيات سلاح المهندسين الأمريكي (Corps of Engineers) للعلاقة بين قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا وسُمك رصفة الطريق (شكل 2-8)، والمنحنيات مقتبسة من المرجع /19/.

جدول (3-8) تقييم نتائج فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

تصنيف التربة		الاستعمال	التقدير	قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (%)
حسب نظام (AASHTO)	حسب النظام الموحد (USCS)			
A5, A6, A7	OH, CH, MH, OL	طبقة التأسيس (Subgrade)	ضعيف جداً	3-0
A4, A5, A6, A7	OH, CH, MH, OL	طبقة التأسيس	ضعيف إلى معتدل	7-3
A2, A4, A6, A7	OH, CL, ML, SC, SM, SP	أساس مساعد (Sub-base)	معتدل	20-7
A-1-b, A-2-5, A3, A-2-6	GM, GC, SW, SM, SP, GP	أساس (Base course) أساس مساعد	جيد	50-20
A-1-a, A-2-4, A4	GW, GM	أساس	ممتاز	50<

وفي الجدول التالي (4-8) نورد قيم نسبة تحمل كاليفورنيا لطبقات الطرق المختلفة حسب متطلبات مواصفات أعمال الطرق في فلسطين والاردن، حيث يغلب استعمال نواتج الكسارات من الحجر الكلسي الطري إلى متوسط القساوة (Soft to medium hard limestone) في طبقات الأساس والأساس المساعد.

جدول (4-8) المواصفات المطلوبة لنسبة تحمل كاليفورنيا
لطبقات الطرق في فلسطين والاردن

الطبقة	نسبة كاليفورنيا (%)
طبقة التأسيس (Subgrade)	8 حداً أدنى
أساس مساعد (Sub-base course)	40 حداً أدنى
أساس (Base course)	80 حداً أدنى

شكل (2-8) - العلاقة بين قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا وسُمك رصفة الطريق حسب سلاح
المهندسين الأمريكي

2-8 فحص نسبة تحمل كاليفورنيا - سي بي آر (California Bearing Ratio-CBR Test)

(1) المراجع القياسية (Standard references):

- BS 1377
- ASTM D - 1883
- AASHTO T-193

ملاحظة : سيرتكز عرضنا لهذا الفحص على المواصفات الأمريكية.

(2) الأجهزة اللازمة (Equipment):

- أ- قوالب سي بي آر (CBR moulds).
- ب- قرص معدني مُباعِد (Spacer disc) قطره أصغر قليلاً من قطر القالب. وفي حالة استعمال القوالب ذات القطر 7 انش، يكون القرص المباعِد ذا ارتفاع 2.416 انش للحصول على عينة داخل القالب ارتفاعها 4.584 انش.
- ت- مطرقة (Rammer) لدمك التربة (أنظر جدول 2-8).
- ث- أدوات لقياس انتفاخ التربة، وتتكون من ثلاثي قوائم (Tripod) معدني يرتكز إليه عداد مدرج (Dial gauge) لقياس التثوه، وقاعدة مخرّمة معدنية (Perforated plate).
- ج- أوزان مؤلفة من حلقات معدنية مثقوبة من الوسط مجموع أوزانها حوالي 4.54 كيلو غراماً، وحلقات مثقوبة من الوسط ومفتوحة من الجانب وزن كل واحدة حوالي 2.27 كيلو غراماً.

- ح- عمود أو مكبس اختراق (Penetration piston) قطره 49.63 ملمتراً وطوله 101.6 ملمتراً على الأقل (مساحة مقطع المكبس = 1935 ملمتراً مربعاً).
- خ- هيكل تحميل (Loading frame) خاص بقدرة لا تقل عن 44.5 كيلو نيوتن، وله رأس متحرك أو قاعدة متحركة بسرعة منتظمة مقدارها 1.27 ملمتراً الدقيقة.
- د- وعاء غمر (Soaking tank) له ارتفاع كاف للمحافظة على منسوب الماء حوالي 1 انش فوق سطح القوالب عند غمرها.
- ذ- فرن تجفيف (Drying oven).
- ر- أدوات مختلفة مثل السكاكين وورق الترشيح والموازين وغيرها.

(3) الطريقة (Procedure):

- 1- تحضر العينة كما هو مذكور في طريقة الدمك القياسي أو المعدل وتدمك في القالب على طبقات كما هو موضح في الجدول (2-8). وإذا كانت المادة تمر من المنخل 3/4 انش (20ملمتراً) تدمك العينة كما هي دون تعديل، وإذا تبقى جزء منها على المنخل 3/4 انش يتم استبدال هذا الجزء بكمية مساوية تمر من منخل 3/4 انش وتتبقى على منخل رقم 4 (4.75 ملمتر).
- 2- يتم تحديد محتوى الرطوبة المثالي (Optimum moisture content) للعينة (إذا لم يكن معروفاً) بطريقة الدمك القياسي أو المعدل حسب المطلوب.
- 3- إذا كان المطلوب تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) عند أقصى كثافة جافة (Maximum dry density) ومحتوى الرطوبة المثالي، يتم

دمك العينات في قالب عند محتوى الرطوبة المثالي وباستعمال طريقة الدمك القياسي أو المعدل. وإذا كان المطلوب هو تحديد CBR عند محتوى الرطوبة المثالي ونسبة مئوية معينة من الكثافة الجافة القصوى، يتم دمك ثلاث عينات عند محتوى الرطوبة المثالي مع استعمال طريقة الدمك القياسي، وتغير الضربات لكل عينة حتى يتم الحصول على الكثافة الجافة المطلوبة. فمثلاً، إذا أردنا نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) لتربة مدموكة إلى 90% من كثافتها الجافة القصوى، نستعمل عدداً من الضربات مقداره 10، 30، 65 ضربة لكل طبقة للعينات الأولى والثانية والثالثة على التوالي، ويتم تحديد (CBR) لكل عينة على حدة.

4- إذا كان المطلوب هو تحديد (CBR) عند عدة محتويات للرطوبة يتم تحضير عينات عند محتويات رطوبة مختلفة كالتي تجري لرسم منحنى العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة الجافة، ويتم رسم المنحنى، كما يتم إجراء فحص الاختراق لتحديد (CBR) لكل عينة. بالإضافة إلى ذلك يتم رسم العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة لعينات محضرة على 30 ضربة، وعينات على 10 ضربات، ويتم إجراء فحص الاختراق وتحديد (CBR) لكل عينة.

5- يتم تجميع القالب مع القاعدة، كما يدخل القرص المباعِد (Spacer disc) فوق القاعدة، ثم توضع ورقة ترشيح فوق القرص وتدمك العينة في القالب فوق ورقة الترشيح. بعد الدمك يتم رفع غطاء القالب (Collar) وتسوية سطح العينة مع حواف القالب باستعمال الحرف الحاد (Straight edge)، ثم يتم ملء الفراغات الكبيرة الناتجة عن خروج الأحجار أثناء تسوية السطح بمواد أصغر.

- 6- يتم فك قاعدة القالب والقرص المبعاد وتوزن العينة مع القالب.
- 7- توضع ورقة ترشيح على القاعدة ويوضع القالب مقلوباً مع العينة عليها، ويثبت القالب بالقاعدة بحيث تلامس العينة ورقة الترشيح.
- 8- توضع الأوزان فوق القرص المنقب (القاعدة المخرمة المعدنية) وتنزل برفق فوق العينة. وتوضع مجموعة أوزان بحيث تكون معادلة لوزن الرصفة ولا يقل وزنها عن 10 باوند (4.54كغم) حتى ولو لم يكن هناك رصفة.
- 9- بعد دمك كل قالب، يتم غمره بالماء مع السماح للماء بالوصول إلى سطح العينة وأسفلها، وتؤخذ قياسات أولية للانتفاخ، وتترك العينة لمدة (96) ساعة مع بقاء سطح الماء ثابتاً (حوالي انش واحد فوق سطح القالب). ويمكن أن تقتصر فترة الغمر على 24 ساعة للمواد الخشنة أو إذا تبين أن هذا لن يؤثر على نتائج الفحص. وبعد انتهاء فترة الغمر تؤخذ قراءات الانتفاخ ثانية وتؤخذ النسبة المئوية للانتفاخ كنسبة مئوية من الارتفاع الأصلي للعينة.
- 10- تخرج العينة بعد الغمر وتترك مدة (15) دقيقة دون إحداث اضطراب للعينة، ويمكن إمالة القالب لتصريف ماء السطح.
- 11- ترفع الأوزان والقاعدة وورقة الترشيح ويؤخذ وزن القالب والعينة.
- 12- بعد وزن العينة، توضع الأوزان ثانية فوقها تمهيداً لفحص الاختراق ويتم وضع نفس الأوزان التي كانت فوق العينة أثناء غمرها بالماء. ولمنع خروج التربة من فتحة الأوزان أثناء الاختراق، يوضع الوزن على سطح العينة قبل وضع مكبس الاختراق ثم توضع بقية الأوزان.
- 13- يتم التأثير بحمل صغير على العينة (بواسطة مكبس الاختراق) لا

يزيد عن (44) نيوتن. بعدها يتم تصفير عدادات قراءة الحمل والاختراق. ويتم اعتبار هذا الحمل صفراً عند إيجاد علاقة الحمل والاختراق.

14- يتم التأثير بالأحمال بحيث تكون سرعة التحميل (الاختراق) 1.27 ملمتراً في الدقيقة، ونسجل الأحمال عند اختراق (0.64) (1.29) (3.18) (3.81) (4.45) (5.08) (7.62) (10.16) (12.7) ملمتر.

15- بعد الاختراق، يتم إخراج العينة من القالب، وتؤخذ عينة على عمق انش واحد ويتم تحديد محتوى رطوبتها.

(4) الحسابات (Calculations) :

أ. يحسب الإجهاد لكل نقطة اختراق ويُرسم منحنى الإجهاد والاختراق (Load- Penetration curve). إذا كانت بداية المنحنى مقعرة للأعلى نتيجة عدم استواء سطح العينة، يتم عمل تصحيح (Correction) للمنحنى بعمل امتداد للجزء المستقيم ليلاقي محور السينات في نقطة يتم اعتبارها نقطة الصفر.

ب. بعد التصحيح يتم إيجاد الإجهادات المقابلة لقيم الاختراق (2.5) ملمتراً و (50) ملمتراً، ويقسم ذلك الإجهاد على الأحمال القياسية المقابلة لقيم الاختراق هذه (أنظر جدول 8-1)، وتكون هذه النتائج هي نسبة تحمل كاليفورنيا. وتكون النسبة على الحمل الأقل هي المعتمدة وتكون عادة هي الأعلى. ولكن إذا وجد أن الثانية (أي عند الاختراق الأكبر والحمل الأكبر) قيمتها أكبر تتم إعادة

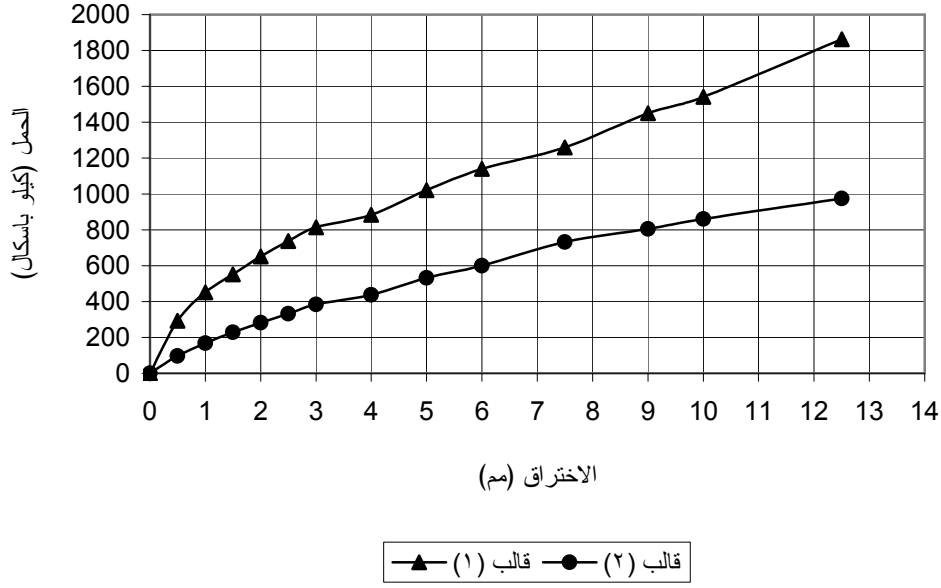
الفحص، فإذا تأكد أن النسبة على الاختراق الأعلى أكبر من تلك المحسوبة للاختراق الأصغر تؤخذ القيمة الأكبر.

ويبين النموذج (8-1) مثلاً لحسابات ونتائج فحص نسبة تحمل كاليفورنيا.

نموذج (1-8)

قالب رقم (2)	قالب رقم (1)	الاختراق (مم)
جهد الاختراق (كيلو باسكال)	جهد الاختراق (كيلو باسكال)	
0.00	0.00	0.00
97	293	0.5
167	452	1.0
229	552	1.5
282	651	2.0
332	737	2.5
384	813	3.0
437	883	4.0
531	1020	5.0
600	1140	6.0
731	1260	7.5
804	1450	9.0
860	1541	10.0
974	1863	12.5

21.5 (%)	14.9	محتوى الرطوبة
2.00 (غم/سم ³)	1.992	الكثافة الرطبة
1.647 (غم/سم ³)	1.734	الكثافة الجافة



شكل (3-8) منحنى العلاقة بين الاجهاد والاختراق من نتائج النموذج (1-8)

ملخص النتائج من المنحنى أعلاه

سي بي آر عند اختراق 5.0 ملم = الجهد عند اختراق 5.0 ملم ÷ الجهد القياسي عند اختراق 5.0 ملم (10324 كيلو باسكال - جدول 1-8) x 100 %	سي بي آر عند اختراق 2.5 ملم = الجهد عند اختراق 2.5 ملم ÷ الجهد القياسي عند اختراق 2.5 ملم 6895 كيلو باسكال - جدول 1-8) x 100 %	الحمل عند اختراق مقداره:		رقم القالب
		5.0 ملم	2.5 ملم	
10	11	1020	737	1
5	5	531	332	2

تُعمد قيمة سي بي آر = 11 للقالب (1) و = 5 للقالب (2).

والتضاغط هو عملية تقارب الحبيبات الصلبة للتربة من بعضها أكثر خلال فترة زمنية وتحت تأثير إجهادات متزايدة. وتترافق هذه العملية مع خروج الماء من الفراغات الموجودة في التربة.

2-5 نظرية التضاغط المحوري للتربة (One-Dimensional Consolidation Theory)

كان البروفيسور كارل ترزاجي (K.Terzaghi) أول من بدأ البحث عن كل ما هو متعلق بالتضاغط طويل الأمد (Long-term consolidation) للتربة الطينية، وذلك في كتابه الشهير بالألمانية (Erdbaumechnik) أي هندسة التربة. وهو كتاب صدر للمرة الأولى في فيينا سنة 1925. وقد تابع العلماء جهود ترزاجي في هذا المجال، وكان أهمهم البروفيسور نيكولاي غيرسيفانوف (N. Gersevanov) بأبحاثه المنشورة بين عامي 1931-1948، والبروفيسور فلاديمير فلورين (V.Florin) بأبحاثه المنشورة بين عامي 1937-1961.

وقد عرض ترزاجي في بحثه المذكور، المدخل النظري لعملية التضاغط، وكذلك الجهاز الذي قام بتصميمه لدراسة هذه الظاهرة، والذي أطلق عليه اسم اودوميتر (Oedometer)، وهي كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية (Oidema) ومعناها الانتفاخ (Swelling). وسنكتفي هنا بتوضيح بعض الأمور المتعلقة بنظرية التضاغط، دون الخوض في تفاصيلها الرياضية، حتى لا نخرج عن إطار الكتاب.

5-2-1 أساس نظرية التضاغط

من المعروف أن التربة تتكون من حبيبات صلبة (Solid particles) تتواجد بينها فراغات (Voids) تكون مملوءة بالغاز (الهواء غالباً)، أو الماء، أو كليهما معاً على شكل مزيج. وعندما تتعرض التربة لإجهاد ضغط، فإن حجمها ينقص، ويكون هذا النقص بالنسبة للتربة الطينية المشبعة بالماء راجعاً إلى أحد العوامل الثلاثة التالية:

- أ. انضغاط الحبيبات الصلبة (Compression of solid particles)،
- ب. انضغاط الماء الموجود بين الحبيبات (Compression of water in voids)،
- ت. "فرار" أو إفلات الماء من الفراغات (Escape of water from voids).

وبما أن تأثير العامل الأول (أ) للتربة غير العضوية ضئيل الاحتمال، فإن هذا العامل يُهمل في نظرية التضاغط، كما يُهمل العامل الثاني (ب) لأن انضغاط الماء لا يكاد يُذكر. يبقى العامل الثالث (ت)، الذي يقضي بأن تضاغط التربة يحصل كنتيجة لإفلات أو خروج الماء من فراغات التربة تحت تأثير الضغط الخارجي، وهو العامل الذي تركز إليه نظرية التضاغط. وأما تغير الحجم (Volume change) الناتج عن تضاغط التربة، فإنه يتم ببطء، وكذلك الهبوط (Settlement) الناتج عن هذه العملية فإنه يستغرق وقتاً طويلاً في العادة حتى يصل إلى نهايته القصوى، والتي تدعى من الناحية الكمية بالهبوط الحدي (Ultimate settlement).

ولتوضيح ميكانيكية عملية التضاغط، نورد فيما يلي النموذج أو "الموديل" لهذه العملية، كما قدمه ترزاجي وزميله رالف بيك (R. Peck) سنة 1948، وحسب شرح وتفسير د. تايلور (D. Taylor) /7/.

2-2-5 نموذج المكبس والناضض (الزنبرك) (Spring and Piston Analogy)

لنفرض أن الوعاء الأسطواناني المبين في الشكل (1-5) له مكبس عديم الاحتكاك (Frictionless piston) وذو وزن لا يذكر، ومساحة سطحه (A) ملمترًا مربعًا، وأنه توجد فتحة للتصريف في المكبس يتم التحكم بها بواسطة مفتاح (Valve).

أ. نفترض أن الاسطوانة مملوءة بالماء، وأن الزنبرك المرن موجود بين المكبس وقاعدة الاسطوانة (شكل 1-5 أ). في البداية تكون هناك حالة إتزان عندما يكون المفتاح مغلقًا ولا يكون هناك أي حمل على المكبس، ولا يكون الزنبرك معرضًا لأي ضغط، ولا يوجد أي ضغط على الماء.
ب. يوضع وزن (200 نيوتن) فوق المكبس (شكل 1-5 ب). يبقى الماء محصورًا دون أن يسمح له بالخروج لأن المفتاح مغلق، لذا لا يتحرك المكبس إلى أسفل وبالتالي لا ينضغط الزنبرك، وتكون القوة المؤثرة إلى أسفل متوازنة مع قوة رد فعل مؤثرة إلى أعلى بسبب ضغط إضافي في الماء هو الضغط الهيدروستاتيكي (Hydrostatic pressure) الذي يساوي $A \div 200$ (نيوتن/ملمترمربع).

ت. في لحظة معينة يُحرر المفتاح ($t = 0$) ويتم تشغيل ساعة التوقيت. عندها يصبح بإمكان الماء الخروج عبر الفتحة ولكن ببطء بسبب صغر فتحة الأنبوب، ويبدأ المكبس بالهبوط ببطء إلى أسفل مسببًا حملًا إضافيًا على الزنبرك وأقل منه على الماء (الشكل 1-5 د، ز).

ومع الاستمرار ينضغط الزنبرك إلى الدرجة القصوى (شكل 1-5 ز)، ويصبح حاملًا لكل الحمل. عندها يتلاشى الضغط في الماء (Excess

ويعصل اتران وتتوقف حركة المكبس (شكل 5-1ز). وأما أجزاء الحمل الواقعة على كل من الزنبرك والماء في فترات زمنية مختلفة منذ البداية، فهي مبينة أسفل الشكل (5-1)، إضافة إلى نسبة الإنضغاط النهائي للزنبرك، التي هي نفسها نسبة الحمل الكلي في أية مرحلة. وواضح أنه عندما يحصل الاتزان النهائي، فإن درجة التضاضط تكون 100%، أي أن التضاضط قد انتهى.

5-2-3 الفرضيات الأساسية لنظرية التضاضط (Basic assumptions)

تقوم نظرية التضاضط المحوري للتربة على الفرضيات الأساسية التالية:

- أ. التربة مشبعة تماماً بالماء.
- ب. حبيبات التربة وكذلك الماء غير قابلة للانضغاط.
- ت. هيكل التربة (Soil skeleton) ينضغط فور تأثير الحمل عليه ويحدث له تشوه.
- ث. الحمل المؤثر على التربة ينتقل فوراً ليؤثر على الماء.
- ج. حركة الماء تجري بشكل عمودي فقط.
- ح. ترشح الماء في التربة يخضع تماماً لقانون دارسي (Darcy's law).

شكل (5-1) - نموذج المكبس والزنبرك الذي يوضح مبدأ تضاغط التربة.

5-2-4 الأهمية العملية لدراسة تضاغط التربة

يمكن تلخيص هذه الأهمية بما يلي:

- أ. معرفة مدى قابلية التربة للانضغاط تحت تأثير الأحمال الخارجية، ويعبر عن هذه القابلية معامل الانضغاط الحجمي (Coefficient of volume compressibility) ويرمز له (m_v) ، والذي يقيس الكمية التي تتضغط إليها التربة تحت تأثير الحمل الخارجي.
- ب. دراسة سلوك التربة وهبوطها تحت تأثير الحمل الخارجي وربط ذلك بعامل الزمن، من خلال معامل التضاغط (Coefficient of consolidation) ويرمز له (C_v) ، والذي يعبر عن سرعة التضاغط (Rate of consolidation)، وكذلك تحديد الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى قيمة الهبوط الكلي (Final settlement).
- ت. تساعد معرفة خصائص التضاغط للتربة الطينية في معرفة نفاذيتها (Permeability).

3-5 فحص التضاغط المحوري للتربة

(One-Dimensional Consolidation Test of Soil)

(1) المراجع القياسية (Standard references):

- BS 1377
- ASTM D-2435
- AASHTO T-216.

ملاحظة: تختلف المراجع القياسية المذكورة أعلاه في طريقة عرضها للفحص، رغم أن المبدأ ثابت لا يتغير. وسيكون عرضنا للفحص هنا مرتكزاً إلى المواصفات البريطانية (BS 1377)، ويشمل هذا الجهاز والطريقة والحسابات. وسنركز إلى المرجع /7/.

(2) الأجهزة اللازمة (Equipment):

- أ. جهاز التضاغط المحوري (Oedometer) - ويتكون بشكل أساسي من صندوق أو خلية التضاغط (Consolidation cell)، وأهم أجزائها:
- حلقة التضاغط (Ring) وقطرها (50) أو (75) ملمتراً وارتفاعها (20) ملمتراً.
 - الصندوق أو جسم الخلية (Cell body).
 - أقراص مُنفذة (Porous discs) عدد (2).
 - قرص تحميل (Loading yoke) عمودي.
 - ذراع أفقي (Beam) ينقل تأثير الأحمال للعينة.
 - مجموعة أحمال (أوزان) (Weights).
- ويبين الشكل (2-5) أهم تفاصيل جهاز التضاغط المحوري.
- ب. سكاكين مختبر خاصة لتحضير العينة (Trimming Knives).
- ت. ساعة توقيت (Watch glass).
- ث. ميزان (Balance).
- ج. أدوات لتحديد محتوى الرطوبة.

(3) الطريقة (Procedure):

- 1- تؤخذ مقاسات حلقة التضاغط (القطر D والارتفاع H) ويؤخذ وزنها فارغة (m_R).
- 2- تحضير العينة - ويقصد بتحضير العينة لفحص التضاغط المحوري عملية إدخال التربة في حلقة التضاغط. وتكون التربة عادة على شكل عينة داخل أنبوب جمع العينات (Tube sampler)، أو كتلة مأخوذة من حفرة اختبارية (Block sample) (أنظر شكل 2-1)، أو عينة معجونة

- (مُعَادَة التَشْكِيل Remoulded sample). ولكن، غالباً ما يكون المطلوب هو عينة سليمة التركيب (Undisturbed sample) وممثلة للتركيب الطبيعي للتربة. ويتم تحضير العينة بوضع حلقة التضاغط فوق التربة (في الأنبوب أو كتلة التربة) بعد تسوية سطحها جيداً، ثم يُعزَز جزء من الحلقة في التربة بقليل من الضغط، وتنظف التربة حول الحلقة من خارجها بالسكين، وتغرَز مقداراً آخر، وهكذا، حتى تتغرَز الحلقة تماماً في التربة. بعدها يتم إخراج الحلقة وما بداخلها، ثم يُسَوَّى سطح التربة في الحلقة من الجهتين مع حواف الحلقة.
- 3- يتم أخذ بعض نواتج القطع أثناء تحضير العينة، وذلك لحساب محتوى الرطوبة للعينة قبل الفحص (W_0 Initial moisture content)، والوزن النوعي لها G_s - أحياناً يتم فرض قيمة الوزن النوعي للتربة حسب نوعها ويُشار لهذا في تقرير نتائج الفحص -.
- 4- يتم تحضير الجهاز والتحقق من أجزائه ووضعه الأفقي.
- 5- يتم إيجاد وزن العينة داخل الحلقة ($m = m_1 - m_R$) حيث m_1 - وزن العينة مع الحلقة، m_R - وزن الحلقة وهي فارغة.
- 6- يتم جمع صندوق أو خلية التضاغط بوضع قرص منفذ داخل الصندوق وفوق العينة داخل الحلقة، ثم قرص منفذ فوق العينة، ثم الغطاء أو قرص التحميل - أنظر الشكل (5-2أ) -.

شكل (5-2) - تفاصيل جهاز التضاغط المحوري
(أ) رسم تخطيطي لخلية (صندوق) التضاغط، (ب) أجزاء الجهاز.

- 7- توضع خلية التضاضط على المكان المخصص لها على الجهاز.
- 8- يُصحح وضع محور التحميل ليكون عمودياً، وكذلك الذراع الأفقي (Beam) ليكون في وضع أعلى قليلاً من الوضع الأفقي. ويتم ضبط الذراع الأفقي بواسطة برغي (Screw) لهذا الغرض.
- 9- يتم تثبيت الساعة المدرجة المخصصة لقياس التشوه في المكان المخصص لها، ويتم وضع مؤشر الساعة على القراءة (صفر).
- 10- تتم إضافة الوزن المطلوب إلى محور التحميل العمودي للحصول على قيمة الإجهاد الابتدائي (Initial pressure) المؤثر على العينة، والتي يجب أن تكون مقاربة لقيمة الضغط أو الإجهاد الذي كان واقعاً على العينة في وضعها الطبيعي قبل استخراجها من الأرض. وهو إجهاد يساوي (γH) حيث γ - كثافة التربة، H - سُمك طبقة التربة الواقعة على النقطة التي استخرجت منها العينة (في حالة التربة التي تتكون من أكثر من طبقة تؤخذ القيمة المتوسطة للكثافة).
- ملاحظة: يجب أن يكون معلوماً لكل جهاز قيمة الوزن الذي تلزم إضافته لمحور التحميل العمودي لإحداث وحدة إجهاد على العينة، أو قيمة الإجهاد إلى سطح العينة الذي ينتج عن إضافة وحدة وزن إلى محور التحميل.
- 11- في حالة إجراء الفحص للعينة المغمورة بالماء، يتم ملء الخلية بماء له درجة حرارة الغرفة (Room temperature)، بحيث يكون القرص المنفذ العلوي مغموراً تماماً. وفي حالة إجراء الفحص للعينة برطوبتها الطبيعية، يتم الانتقال للخطوة التالية، دون غمر.
- 12- يتم تحرير البرغي الذي يرتكز إليه الذراع الأفقي وفي نفس اللحظة تُشغل ساعة التوقيت. يُلاحظ أن ساعة قياس التشوه قد بدأت بالدوران مع تحرير البرغي، أي أن تأثير الحمل على العينة قد بدأ.

13- يتم أخذ قراءات التشوه وتثبيتها في الجدول الخاص بنتائج الفحص (نموذج 5-1أ). وذلك على فترات زمنية محددة (مثلاً بعد 6، 10، 15، 30 ثانية، 1، 2، 4، 8، 15، 30 دقيقة، 1، 2، 4، 8، 24 ساعة)، على أن قراءة الساعة الأولى هي الأكثر أهمية وهي التي يجب أن تؤخذ بشكل دقيق وفي الوقت المحدد بدقة، لأن سرعة الهبوط (التشوه) تكون سريعة في بداية تأثير الحمل.

ملاحظة: يتم الاستمرار بأخذ القراءات طالما هناك زيادة في التشوه. ولا يتم تقرير زيادة الحمل التالي إلا بعد التأكد من توقف التشوه تحت تأثير الحمل الحالي. وعندما يكون الوقت المخصص للفحص كافياً فمن الأفضل زيادة الحمل التالي بعد مرور (24) ساعة على تأثير الحمل الحالي.

14- عند تقرير زيادة الحمل، يتم غلق البرغي ليلامس الذراع الأفقي مع الحفاظ على القراءة الموجودة على ساعة قياس التشوه، ويضاف الحمل إلى المحور العمودي ثم تعاد الخطوات (12-13)، وهكذا لكل مرحلة تحميل (Loading stage) حتى آخر حمل (أو إجهاد) مطلوب، ويكون الإجهاد قريباً من قيمة الإجهاد المتوقع أن يؤثر على النقطة التي أخذت منها العينة تحت تأثير وزن المبنى أو المنشأ، مضافاً إليه وزن طبقة التربة الواقعة فوق هذه النقطة (γH)، وهي معلومات يطلبها المختبر الذي يقوم بدراسة التربة من المهندس المصمم وتكون في العادة تقريبية.

15- إذا كان مطلوباً دراسة سلوك التربة أثناء رفع الأحمال (Unloading)، يجري تنزيل الأحمال بالتدرج مع أخذ القراءات العكسية اللازمة.

16- بعد هذه العملية يتم توقيف الفحص وفك خلية التضاعط وإخراج العينة (حلقة التضاعط وبداخلها العينة) منها. توزن الحلقة والعينة وليكن وزنها مساوياً (m_2) ، ثم يوجد وزن العينة $(m_p = m_2 - m_R)$.

17- توضع الحلقة وبداخلها العينة في فرن التجفيف حتى ثبات الوزن، وليكن الوزن بعد التجفيف (m_3) ، ومنها نجد وزن العينة الجافة $(m_s = m_3 - m_R)$.

18- يُحسب محتوى الرطوبة للعينة:

$$W_o = \frac{m - m_s}{m_s}$$

ويمكن اعتبار هذه الخطوة بمثابة "تشبيك" على قيمة محتوى الرطوبة التي يتم تحديدها من نواتج القطع أثناء تحضير العينة (خطوة رقم 3).
وأما محتوى الرطوبة النهائي (Final moisture content) بعد الفحص فهو:

$$W_f = \frac{m_f - m_s}{m_s}$$

19- تحليل نتائج الفحص والحسابات التفصيلية والمنحنيات، وهو ما سنتناوله لاحقاً بالتفصيل.

(4) الحسابات (Calculations):

وتقسم إلى الحسابات التي تجري قبل الفحص، وتلك التي تجري بعد انتهائه وكذلك عند نهاية كل مرحلة تحميل.

أ. قبل الفحص:

- مساحة العينة (Area of specimen):

$$A = \pi D^2 \div 4 \text{ (mm}^2\text{)}$$

- الحجم الابتدائي للعينة (Initial volume of specimen):

$$V_o = \frac{AH_o}{1000} \text{ (cm}^3\text{)}$$

جدول موجود في ملف مستقل باسم (ص 209-210))

جدول موجود في ملف مستقل باسم (ص 209-210))

- محتوى الرطوبة (Moisture content):

$$W_o = \frac{m - m_s}{m_s}$$

- الكثافة (Density):

$$\rho = m \div V_o \quad (\text{g/cm}^3)$$

- الكثافة الجافة (Dry Density):

$$\rho_d = \rho \frac{100}{100 + W_o} \quad (\text{g/cm}^3)$$

- نسبة الفراغات (Voids ratio):

$$e_o = \frac{G_s}{\rho_d} - 1$$

- درجة التشبع بالماء (Degree of saturation):

$$S_o = \frac{W_o G_s}{e_o}$$

- معامل تغير نسبة الفراغات (Voids ratio change factor):

$$F = \frac{1 + e_o}{H_o} \quad (\text{mm}^{-1})$$

ب. بعد الفحص:

- محتوى الرطوبة (Moisture content):

$$W_f = \frac{m_f - m_s}{m_s}$$

- ارتفاع العينة (Height of specimen):

$$W_f = H_o - (\Delta H)_f \quad (\text{mm})$$

حيث $(\Delta H)_f$ - القيمة الكلية للتشوه (الهبوط) حسب القراءة النهائية للساعة المدرجة.

- الكثافة (Density):

$$\rho_f = \frac{m_f}{AH_f} 1000 \quad (\text{g/cm}^3)$$

- الكثافة الجافة (Dry density):

$$\rho_{df} = \rho_f \frac{100}{100 + W_f} \quad (\text{g/cm}^3)$$

- نسبة الفراغات (Voids ratio):

$$e_o = \frac{G_s}{\rho_{df}} - 1$$

- درجة التشبع بالماء (Degree of saturation):

$$S_f = \frac{W_f G_s}{e_f}$$

ت. عند نهاية كل مرحلة تحميل:

- التغيير في نسبة الفراغات (تراكمي) (Voids ratio after an increment):

$$\Delta e = F \cdot \Delta H$$

- نسبة الفراغات بعد زيادة الحمل (Voids ratio after an increment):

$$e_1 = e_o - \Delta e$$

- تغير نسبة الفراغات خلال التحميل

(Voids ratio change during an increment)

$$\delta_e = e_1 - e_2$$

- معامل الانضغاط الحجمي لحمل معين

(Coefficient of volume compressibility)

$$m_v = \frac{\delta_e}{\delta_p} \times \frac{1000}{1 + e_1}$$

- معامل التضاضط خلال تحميل معين (Coefficient of consolidation)

$$C_v = \frac{0.026(\bar{H})^2}{t_{50}} \quad (\text{متر مربع/السنة}) \quad (\text{m}^2/\text{year})$$

أو

$$C_v = \frac{0.112(\bar{H})^2}{t_{90}} \quad (\text{متر مربع/السنة}) \quad (\text{m}^2/\text{year})$$

حيث

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (\text{mm})$$

- معامل النفاذية تحت تأثير حمل معين (Coefficient of compressibility)

$$K = C_v m_v \times 0.31 \times 10^{-9} \quad (\text{متر/الثانية}) \quad (\text{m/s})$$

ويبين الجدول (1-5) والشكل (3-5) مثالاً للحسابات التي تجري أثناء مراحل التحميل، ومنحنى العلاقة بين نسبة الفراغات ولوغاريتم الإجهاد (e-log P curve) وذلك حسب المعطيات الواردة في النموذج (1-5).

(5) تحليل منحنيات الهبوط - الزمن

:(Analysis of settlement- time curves)

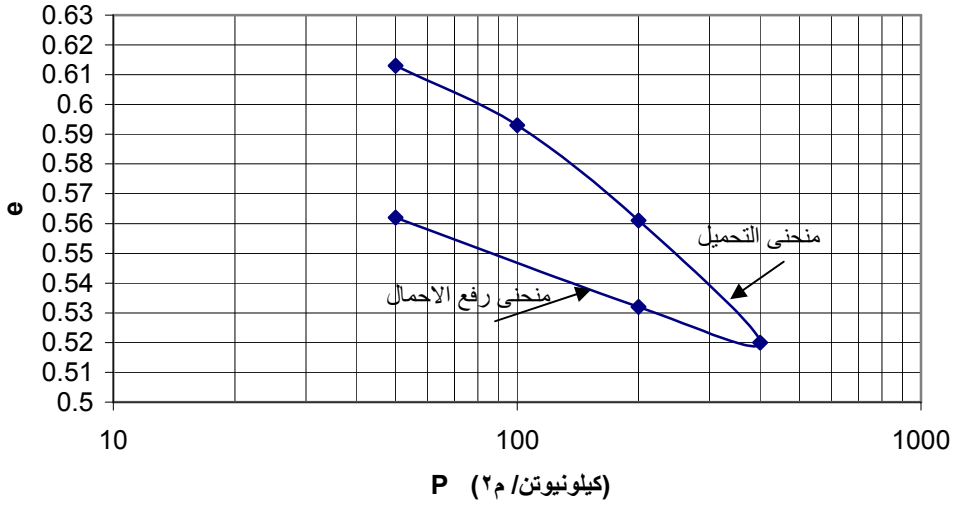
يجري تحليل نتائج فحص التضاضط من خلال منحنيات العلاقة بين قيم التشوه أو الهبوط (حسب القراءات المسجلة أثناء الفحص) والزمن.

ويهدف التحليل إلى إيجاد قيمة معامل التضاغط (C_v)، وكذلك درجة التضاغط (Degree of consolidation) أثناء المراحل المختلفة للتحميل. ودرجة التضاغط هي النسبة المئوية لتبديد ضغط الماء المسامي (Pore-water pressure).

ولتحليل المنحنيات المذكورة، تستعمل طريقتان تجريبيتان (Empirical methods) هما طريقة الجذر التربيعي للزمن (Square root -time) وطريقة لوغاريتم الزمن (Log time)، ويجري الحساب عادة بالطريقتين، إلا إذا وجد أن استعمال إحداهما يفي بالغرض.

جدول (1-5) - الحسابات لرسم منحنى (e - log P)

معامل التضاضط					التضاضط الحجمي				نسبة الفراغات				رقم مرحلة التحميل
$C_v = (0.026 \times \bar{H}^2) \div t_{50}$ (م/السنة)	$(\bar{H})^2$ (م)	$\bar{H} = H_1 + H_2 \div 2$ (م)	$H = H_0 - \Delta H$ (م)	t_{50}	$m_v = (\delta e \div \delta p) \div \{(1000 \div (1 + e_1))\}$ (م كيلونيوتن ²)	$(1 + e_1)$	δp	δe	$e_1 = e_0 - \Delta e$ ($e_0 = 0.622$)	$\Delta e = F \cdot \Delta H$ ($F = 0.0807$)	الهبوط (ΔH) (م)	الإجهاد (P) (كيلونيوتن/م ²)	
-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	0	-
0.804	402	20.05	19.99	13	1.107	1.613	50	0.0086	0.613	0.0086	0.106	50	1
1.63	395	19.87	19.74	6.3	0.251	1.593	50	0.020	0.591	0.0291	0.360	100	2
0.432	382	19.54	19.34	23	0.205	1.561	100	0.032	0.561	0.0615	0.762	200	3
0.498	364	18.83	18.83	19	0.135	1.520	200	0.041	0.520	0.1024	1.269	400	4
-	-	-	-	-	-	-	200-	0.012-	0.532	0.0902	1.118	200	5
-	-	-	-	-	-	-	150-	0.032-	0.562	0.0598	0.741	50	6



شكل (3-5)

أ. طريقة الجذر التربيعي للزمن (Square root-time method) :

وتنسب هذه الطريقة للبروفيسور تايلور (Taylor) الذي اقترحها للمرة الأولى سنة 1942. وتتلخص الطريقة بما يلي:

- يتم رسم منحنى العلاقة بين الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{t}) وقيم التشوه أو الهبوط، وذلك لكل مرحلة من مراحل التحميل (شكل 5-4).

- يُرسم خط مستقيم يصل بين نقاط المنحنى الواقعة على نفس الخط (BQ)، ويكون هذا الخط مماساً للمنحنى، ويقطع المحور الرأسي الذي يمثل الهبوط في النقطة (Q) التي يتم اعتبارها نقطة الصفر المصححة (Corrected Zero point).

- يُرسم خط أفقي مواز لمحور (\sqrt{t}) من نقطة الصفر المصححة، ويكون هذا الخط ممثلاً لدرجة التضاضط المساوية صفر (U=صفر).

- تؤخذ أي نقطة اختيارية على الخط المماس للمنحنى (q) ويتم الابتعاد عنها بمقدار (1.15) من أحداثها الأفقي للحصول على نقطة أخرى (r).

- يتم توصيل النقطتين (r) و (Q) ونحصل على النقطة (C) التي تقطع المنحنى. يكون الخط الأفقي من (C) ممثلاً لدرجة التضاضط (U=90%).

- للحصول على النقطة التي تمثل (U=100%)، ويتم تقسيم المسافة بين (d_0) و (d_{90}) إلى تسعة أقسام متساوية ويضاف قسم بنفس القياس للحصول على نقطة (U=100%) واستكمال محور قياس (U).

- يتم حساب قيمة معامل التضاضط (C_v) بإحدى المعادلتين:

$$C_v = \frac{0.112(\bar{H})^2}{t_{90}}, t_{90} = (\sqrt{t_{90}})^2$$

$$\text{أو } C_v = \frac{0.026(\bar{H})^2}{t_{50}}, t_{50} = (\sqrt{t_{50}})^2$$

شكل (4-5) - منحنى طريقة الجذر التربيعي للزمن

حيث (H) - ارتفاع العينة اثناء التحميل (أنظر الجدول 1-5).

ب. طريقة لوغاريتم الزمن (Log-time method):

وتنسب هذه الطريقة إلى البروفيسور كازاغراندا (Casagrande) الذي اقترحها لأول مرة. وتتلخص الطريقة بما يلي:

- يتم رسم منحنى العلاقة بين الزمن بالمقياس اللوغاريتمي (Log scale) والتشوه أو الهبوط، وذلك لكل مرحلة من مراحل التحميل (شكل 5-5).
 - تؤخذ نقطتان اختياريتان على المنحنى بحيث يكون الفرق في الزمن بين الأولى والثانية أربعة أضعاف (النقاط a و b على المنحنى)، وتؤخذ مسافة رأسية من النقطة a (a d) مساوية لقيمة الضلع (a c) من المثلث (a b c) وعلى امتدادها. ويكون الخط الأفقي من (d) الموازي لمحور (Log t) ممثلاً لدرجة التضاضط (U = صفر).
 - للحصول على درجة التضاضط (U = 100%) يتم استعمال الجزء السفلي من المنحنى عند بداية تغير اتجاهه، والذي يظهر عادة عند (U = 75%)، حيث يرسم خط من نقطة الانعطاف يكون مماساً للجزء الأوسط من المنحنى (الخط AB)، ويرسم خط آخر مماس للجزء الأخير من المنحنى (الخط DF)، وعند نقطة تقاطع المماسين تكون (U = 100%).
 - للحصول على تدرج محور قياس درجة التضاضط (U)، ونقسم المسافة بين (d₀) و (d₁₀₀) إلى عشرة أجزاء متساوية.
 - تحسب قيم معامل التضاضط (C_v) بإحدى المعادلتين:

$$C_v = \frac{0.112(\bar{H})^2}{t_{90}}, C_v = \frac{0.026(\bar{H})^2}{t_{50}} \text{ أو}$$
- ويظهر في الشكلين (5-6) و (5-7) المنحنيان اللذان يمثلان نتائج فحص التضاضط للمثال الموضح في النموذج (5-1)، وذلك لمرحلة التحميل الثالثة، وحسب طريقتي الجذر التربيعي للزمن ولوغاريتم الزمن.

Swelling الانتفاخ

اعداد

ميساء سالم

مدرس مساعد

الانتفاخ Swelling

الترب الانتفاخية

تعريف

تعتبر الترب الانتفاخية نوع خاص من الترب اللدنة حيث تظهر تشوهات انتفاخية و انكماشية كبيرة مع تغير درجة رطوبة التربة. تصبح هذه الظاهرة أكثر وضوحا في المناطق الجافة و الشبه الجافة. بقيت طريقة دراسة و معالجة الترب الانتفاخية مسألة محيرة في مجال الهندسة المدنية لفترة طويلة من الزمن.



الحلول

للتوصل إلى حل مقبول لهذه المشكلة لا بد من إجراء تحليل يعتمد على المزاجية الكاملة بين السلوك الميكانيكي للترب مع جريان الماء فيها و تغيرات ضغط ماء المسام. يضاف إلى ذلك استخدام نموذج سلوكية للتربة ملائم يأخذ في الحسبان إمكانية انتفاخ و انكماش التربة. توفر طريقة العناصر المحدودة هذه الإمكانيات التي تؤدي في النتيجة النهائية إلى تصميم أكثر أمانا و دقة و اقتصادية بالمقارنة مع الحلول التقليدية. حيث يتم تحديد تغيرات امتصاص التربة أو ما يعرف بضغط ماء المسام السالب مع الزمن عن طريق حل مسألة الجريان غير المشبع . بعدها يتم استخدام قيم الامتصاص الناتجة في حل المسألة الميكانيكية لتحديد انتفاخ أو انكماش التربة من جراء هذا التغير في امتصاص التربة. يستفيد الخبراء في فيزي إلى الحدود القصوى من ما توفره التحاليل العددية و و العتاد الحاسوبي الصلب لتحليل هذه المشكلة بشكل أكثر تفصيلا و ذلك لدعم المهندس المصمم بتقديرات أكثر دقة و موثوقية عن إمكانية انتفاخ أو تقلص التربة المدروسة.

التربة الانتفاخية

إذا تعرض حجم التربة أو الصخور الرخوة (Soft Rocks) للانكماش أو التمدد عند حدوث تغير في مستوى الرطوبة بها (Moisture) فإنها تسمى انتفاخية. والتربة التي تحدث بها هذه الظاهرة تكون عادة تربة طينية (Clays) وهي تقع ضمن الصنف (A-6) وأن (Liquid limit) لها 40 كحد أعلى وأل (Plasticity index) لها 11 كحد أدنى)) والصنف ((A-7) بصنفيه A-5 -7 و A-6 -7 والذي يكون فيه (Liquid limit) كحد أدنى 41 وأل (Plasticity index) لها 11 كحد أدنى)) وتكون نسبة المواد الناعمة ألعابرة من منخل (غربال) رقم 200 (0.075 ملم) وهي تصنف من حيث الأثناء على أنها (ضعيفة إلى فاشلة Fair to Poor) وذلك بموجب تصنيف المواصفة (AASHTO - M145) إضافة إلى ان هناك بعض أنواع التربة الصفائحية (Shales) تتعرض للانكماش والتمدد أيضا.

وترجع هذه الظاهرة إلى تفتت سيليكات الألمونيوم ذات الأصول المعدنية البركانية (Aluminum Silicate Minerals) لتكون تربة طينية انتفاخية من مجموعة الاسمكتايت (Steatite Group)، وأشهر أنواع

التربة التي تتدرج تحت هذه المجموعة هي تربة المنت موريللونيت (Montmorillonite)، حيث تتمدد الأنواع الصافية (Pure) من هذه التربة ليتضاعف حجمها خمس عشرة مرة قدر حجمها وهي جافة. ولكن هذه التربة في الطبيعة عادة تكون مختلطة بأنواع أخرى من الطين لها صفات اقل انتفاخية، ولذلك يندر أن توجد في الطبيعة تربة يتمدد حجمها ولأكثر من مرة ونصف قدر حجمها وهي جافة و في هذا خطورة طبعا على المنشأ المقام على تربة كهذه.

1- متى يصبح وجود التربة الانتفاخية مشكلة؟

إذا توافرت العوامل الثلاثة فسوف يؤدي وجود التربة الانتفاخية إلى مشاكل يتعين علينا دراستها:

أ- أن تحتوى التربة على مكونات معدنية (Mineral components) ذات الخواص الانتفاخية العالية .

ب- أن تتعرض هذه التربة لتغيرات كبيرة في محتوى الرطوبة .

ج- طبقة التربة المحتوية على مواد انتفاخية يجب أن تكون بسمك كاف لكي تحدث حركة تكفي لأحداث الضرر على سطح الطبقة .وعموما لو زادت نسبة التمدد الحجم لتربة الأساسات عن (3 %) فإنها تؤدي إلى إحداث أضرار بنسبة متفاوتة للمنشآت ما لم تكن أساساتها مصممة بطريقة خاصة لمواجهة ذلك (Specially designed Foundations)

2- مشكلة التربة الانتفاخية :

طبقا لبعض الإحصاءات فان الأضرار التي تلحق بالمنشآت المقامة على التربة الانتفاخية تفوق الأضرار التي تلحق بالمنشآت بسبب الفيضانات والأعاصير والزلازل مجتمعة. وتشمل هذه المنشآت المباني وأيضا الطرق (Roads) والكباري (Bridges) وخطوط الأنابيب (Pipelines) وأيضا كل المنشآت غير المرنة (Rigid structures) والتي تركز على أو تمر من خلال التربة الانتفاخية.

والمشاكل التي تسببها التربة الانتفاخية تتوقف لحد كبير على اختلاف الضغوط (Pressure changes) تحت المنشأ من مكان لآخر، وهذا بسبب التوزيع غير المتساوي لمحتوى الرطوبة (Moisture content) في التربة الحاملة للأساسات. فنجد أن المباني الصغيرة، الكباري والطرق تؤثر بأحمال صغيرة على التربة الانتفاخية وذلك مقارنة بضغط الانتفاخ (Swelling Pressure) بها والتي تتعدى (10000 رطل/قدم² أو 479000 باسكال).

3- أنواع الأضرار التي تسببها التربة الانتفاخية:

الحركة المتفاوتة (Differential movement) تحت المنشأ الواحد من مكان إلى آخر

تغير منسوب التربة في المكان الواحد إلى أعلى وإلى أسفل تبعاً للتغيرات الموسمية (Seasonal changes) لمحتوى الرطوبة ومستوى المياه الجوفية (Water table levels)، والتربة تتعرض لهذه الحركة الرأسية الموسمية حتى أعماق تصل إلى حوالي مترين .

و في حالة إقامة منشأ على مساحة كبيرة نسبياً (مبنى ضخم أو طريق) فإن التغيرات الموسمية في محتوى الرطوبة بسبب الأمطار سوف تتوقف عن الحدوث تحت وسط المنشأ، ولكنها سوف تستمر في الحدوث حول أطراف ومحيط المنشأ، وهذا يؤدي إلى هبوط أطراف المنشأ بالنسبة لوسطه في مواسم الجفاف وهذه الظاهرة تسمى تقبب التربة (Doming of soil) تحت المنشأ، وعلى العكس من ذلك في مواسم الأمطار فإن أطراف المنشأ ترتفع بالنسبة لوسطه، ويحدث ما يسمى تقعر التربة (cupping of soil)، ويسمى هذا التمدد للتربة حول محيط المنشأ بالتمدد الموسمي (seasonal heave)، ويحدث تأثير مماثل على مستوى الرطوبة بالتربة نتيجة لوجود أي تسرب من مواسير المياه أو الصرف الصحي في جانب من جوانب المنشأ، ويسمى التمدد الناتج عن ذلك في التربة بالتمدد العام (General Heave).

4- كيفية معرفة التربة الانتفاخية:

الشك في وجود تربة انتفاخية قد يأتي بعد ملاحظة مظهر التربة وسلوكها بعد الغمر، وقد يوجد هذا الشك أيضاً لمجرد وجود الموقع في المنطقة عرف عنها أن تربتها انتفاخية، وفي كل إقليم يعرف المهندسون به والمتخصصون توزيع المناطق التي تحتوي على تربة انتفاخية. وأياً كان سبب وجود الشك فمن الواجب عندئذ إجراء كشف موقعي دقيق (site investigation) وسواء أجرى الكشف بمعرفة مهندس جيو تقني أو جيولوجي متخصص في التربة الهندسية، فهناك عدة ظواهر لو وجدت في تربة ما لا يمكن التأكد من إنها تربة انتفاخية وهذه الظواهر كالتالي:

أ- عندما تكون التربة الطينية رخوة كالبودرة (Soft Puffy) وتبدو كالفشار وهي جافة (popcorn appearance).

ب- عندما تلتصق التربة بالأصابع بشدة وهي مبتلة.

ج- عندما تظهر التربة لدونه عالية وتكون ضعيفة وهي مبتلة (weak & highly plastic) ولكنها تكون صلبة كالصخر وهي جافة (rock-hard).

قد يظهر فحص المنشآت الموجودة من قبل الغروب من الموقع وجود أضرار بها أو شروخ تدل على وجود تربة انتفاخية أسفلها، وعند الحكم مبدئياً بان التربة انتفاخية فان هناك العديد من الاختبارات المعملية التي يتعين إجراؤها على عينات من التربة لإعطاء تقييم أكثر دقة لمدى انتفاخية التربة، وتعتبر ارتفاع علامة اللدونة (plasticity index) هي المؤشر الأول للحكم على مدى انتفاخية التربة وبضاد إلى ذلك وجود نسبة يعتد بها للمكون الطيني بالعينة وهي الحبيبات التي يقل قطرها عن 2 ميكرون (clayfraction).

يحكم على مدى انتفاخية التربة بدلالة كل من علامة اللدنة (P.I) ونسبة المكون الطيني بالعينة وهذان يتم تعيينهما معملياً، وقد عكست الخبرة تأثير علامة اللدونة (P.I) على مدى اللدونة الانتفاخية.

ويجب ملاحظة أن علامة اللدونة (P.I) هي مؤشر فقط، ولكن هناك عوامل أخرى تحدد مدى قابلية التربة للانتفاخ مثل البناء التركيبي للتربة (SOIL STRUCTURE)، وكذلك عمق الطبقة الانتفاخية والذي يؤدي إلى الحكم على مدى الحركة على سطح الأرض .

قبل اختيار نوع الأساسات (FOUNDATION DESIGN) يجب الأخذ في الاعتبار أيضاً التركيب الجيولوجي للموقع وكذلك تأثير المياه الجوفية (GROUND WATER)، وهناك العديد من التجارب المعملية التي تتيح حساب قيمة التمدد (HWAVE) التي يتعرض لها موقع معين، وهذه التجارب لا غنى عنها في حالة تشييد المنشآت الكبرى الهامة.

5- معالجة وتقليل الأضرار الناتجة عن التربة الانتفاخية:

هذه التقنيات من الممكن الاستغناء عنها في حالة التمكن من تغيير الموقع المرشح للإنشاء (CONSTRUCTION SITE) بموقع آخر ولكن عند تعذر تغيير الموقع فأنه ينتقى من هذه التقنيات ما يناسب الموقع المرشح ، وهذه التقنيات هي كالتالي :

- عزل المنشأ عن التربة الانتفاخية. (ISOLATION FROM EXPANSIVE SOIL)

- تصميم المنشأ المرن (FLEXIBILITY IN DESIGN).

- معالجة التربة لتقليل التغيرات الحجمية. (TREATMENT SOIL)

- الصرف والتحكم في مياه الأمطار

(DRAINAGE AND CONTROL OF SURFACE RUNOFF)

-احتياطات تتعلق بالمزروعات المجاورة للمنشأ

(VEGETATION) MANAGEMENT OF

6- عزل المنشأ عن التربة الانتفاخية (ISOLATION FROM EXPANSIVE SOIL)

هنا يتم عزل المنشأ وحجبه عن تأثير الإجهادات (STRESSES) الناتجة عن تمدد وانكماش (SHRINKING & SWELLING) التربة المحيطة، ويتم ذلك بإحلال التربة (REPLACEMENT) إحللاً كلياً أو جزئياً، فإذا كان سمك الطبقة الانتفاخية صغيراً (SHALLOW) فيمكن عندئذ حفرها وإزالتها واستبدالها بردم غير تمددي (NONEXPANSIVE FILL) بينما لو كانت الطبقة الانتفاخية عميقة فيتم حفرها بعمق كاف ثم يعاد ملئها بردم غير تمددي مع مراعاة السرعة في الردم لتفادي جفاف التربة العميقة.

والتربة الانتفاخية قد تسبب أيضاً إجهادات أفقية (HORIZONTAL STRESSES)، وذلك إذا حصرت ما بين إنشاءات راسية مثل حوائط لير ومات (BASEMENT) أو الحوائط الساندة (RETAINING WALLS).

عند بناء حائط ساند كبير ليسند تربة انتفاخية يتم حفر وإزالة التربة خلف الحوائط ثم إحلالها بتربة غير تمددية (NONSWELLING) مع استعمال طبقة غير منفذة للمياه (WATERPROOF MEMBRANE) حول الردم، وذلك لتفادي تغيير المحتوى الرطوبة لتربة الردم (SOIL MOISTURE).

عندما يكون الحفر والإحلال ممكناً فمن الممكن حل المنشأ على أعمدة أسطوانية (PIERS) تصل إلى الطبقة غير التمددية، وذلك لعزل المنشأ عن تأثير الحركة غير المتساوية (UNEQUAL MOVEMENT) ، والأعمدة الأسطوانية نفسها تغطي بغلاف أسطواني من الفايبر (FIBER BOARD CIRCULAR FORM)، وهذه الأعمدة أفضل من استعمال الخوازيق (PILES)، وذلك لتفادي الارتفاعات (HEAVE AND VIBRATIONS) المصاحبة لدق الخوازيق .

وسواء استعملت الأعمدة الأسطوانية أو الخوازيق فإنها يجب أن تصمم بدقة وذلك لأن التصميم الخاطئ لئلا قد يؤدي إلى شروخ وانهيارات في المشا.

أخيراً يجب مراعاة أن القوى الرافعة (UPWARD FORCES) التي تبذلها التربة الانتفاخية على هذه الأعمدة والخوازيق عند حدها الأقصى لا تتعدى أحمال هذه العمدة (PICR LOAD) أو الخوازيق وإلا فيجب عمل تغييرات أخرى في التصميم كأن نوسع قاعدة العمود (BELLIED PIER)

فحوصات القص للتربة

الباب الرابع

(Soil Shear Tests)

1-4 مدخل (Introduction)

أشرنا في الباب الثاني من هذا الكتاب الى فحوصات القوّة للتربة، والى أن المقصود بها هو تلك الفحوصات التي يتم من خلالها ايجاد القيم والمعاملات التي تساعد في دراسة قوة التربة ومقاومتها للقوى والأحمال الخارجية. وأشهر هذه الفحوصات، الاشكال المختلفة لفحوصات القص، وهي فحص القص المباشر (Direct shear test)، والقص ثلاثي المحاور (Triaxial test)، والانضغاط اللامحصور (Unconfined compression)، وفحص التضغوط المحوري (One-dimensional consolidation)، والاختراق (Penetration) وفحص نسبة تحمل كاليفورنيا (California Bearing Ratio) الذي يشتهر باسمه المختصر سي بي آر (C.B.R). ومن هذه الفحوصات ما هو مخبري، ومنها ما هو حقلي. ونظراً لأهمية هذه الفحوصات، فقد رأينا عرض الفحوصات المخبرية في أبواب منفصلة، فيما تتم مناقشة الفحوصات الحقلية في باب يخصص لذلك. أم هذا الباب فهو مخصص للفحوصات المخبرية للقص.

مقاومة التربة للقص (Shear strength of soil): من المعروف أن أساس المبنى أو المنشأ يقوم بعملية نقل وتوصيل الأحمال الى التربة التي يرتكز عليها. ويؤدي تأثير هذه الأحمال الى ظهور اجهادات (Stresses) في التربة

تنتج عنها تشوهات (Deformations). وتكون هذه التشوهات إما مرنة (Elastic) لحبيبات التربة، أو حجمية نتيجة لخروج الماء من الفراغات، وينتج عنها تغيير في حجم التربة (Volume change) وهي ظاهرة التضاضط (Consolidation) التي سنتناول تفاصيلها في الباب الخامس. وأما الشكل الثالث للتشوهات التي يمكن أن تظهر في التربة تحت تأثير الحمل الخارجي، فهو انزلاق حبيبات التربة الواحدة فوق الأخرى (Slippage of soil particles)، والذي قد يؤدي إلى انزلاق كتلة ترابية فوق أخرى، مما يعني الانهيار (Failure)، وهذا الشكل من التشوهات هو ما يعرف بالقص (Shear). وحتى تتوضح صورة هذه الظاهرة والظروف التي تحصل خلالها، نورد مسلسل التحميل التالي:

لنفرض أن حملاً خارجياً متصاعداً تدريجياً يؤثر على سطح التربة من خلال مكبس صلب (Rigid stamp) مع مراقبة الهبوط العمودي للتربة أثناء عملية التحميل. ولنفرض أن أول حمل كان (P_1) والهبوط الناتج عنه (S_1)، والحمل الثاني كان (P_2) والهبوط الناتج عنه (S_2)، وهكذا، حسب المنحنى ($P \rightarrow S$) الموضح في الشكل (1-4).

إن تحميل التربة حتى حد معين ينتج عنه تراص حبيباتها تحت تأثير الحمل على حساب الفراغات بين هذه الحبيبات، أي أن التربة تتدمك بتقارب حبيباتها من بعضها البعض، وبالتالي تتحسن خصائصها، وتدعى هذه المرحلة من مراحل التحميل بمرحلة الانضغاط أو الدمك (Compaction phase)، ويمثل نهايتها على المنحنى الحمل (P_2) والهبوط الناتج عنه (S_2). وتنتهي هذه المرحلة عند تلاشي الفراغات في تركيب التربة، ونظرياً، وحسب العالم الروسي نيكولاي غيرسيفانوف (N.Gersevanov)، فإن العلاقة بين الحمل والهبوط في هذه المرحلة يمكن اعتبارها علاقة خطية (Linear)،

وبالتالي يمكن استعمال القوانين والاشتقاقات الناتجة من نظرية المرونة (Theory of elasticity) لدراسة التربة في هذه المرحلة. وهذه الفرضية هي الأساس النظري الأكثر شهرة في ميكانيكا التربة، وهي صالحة طالما أن الحمل المؤثر على التربة ضمن نطاق المرحلة الأولى للتحميل، مرحلة الانضغاط أو الدمك.

ولكن، ما الذي يحصل لو تمت زيادة الحمل المؤثر على التربة بعد تلاشي الفراغات بين حبيباتها ؟

إن الذي يحصل هو أن الحبيبات تبدأ بالانزلاق الواحدة فوق الأخرى، أي تبدأ مرحلة القص (Shear phase). وتكون العلاقة بين الحمل والهبوط في هذه المرحلة غير خطية (Non-linear)، ودراسة التربة خلالها تتبع نظريات خاصة، حتى أن فرعاً خاصاً في ميكانيكا التربة قد بدأ بالاستقلال بذاته وهو فرع "ميكانيكا التربة غير الخطية" (Non-linear soil mechanics).

وقد أظهرت تجارب عملية أجراها العالم الروسي فلاديمير بيريزانتسيف (V. Berezantsev) أن نواة مترابطة (Compacted core) تتشكل في نهاية مرحلة الانضغاط وبداية مرحلة القص (شكل 4-2) وينتهي تشكلها عند بلوغ التربة قدرة تحملها القصوى (عند الحمل P_3 على الشكل 4-1)، وأي زيادة في الحمل بعد ذلك تؤدي إلى ظهور اسطح انزلاق متصلة تكون دليلاً على أن التربة بدأت في فقدان ثباتها (Loss of stability)، وهو بداية مرحلة التحميل الثالثة، وتسمى مرحلة الانهيار (Failure phase).

ولدراسة مقاومة التربة للقص، يتم إجراء أحد فحوصات القص في المختبر، وذلك لتحديد المركبين الرئيسيين لهذه المقاومة، وهما:

شكل (1-4) العلاقة بين الحمل الخارجي والهبوط (مراحل تحميل التربة)

- أ- التماسك بين الحبيبات وتعبّر عنه قوة التماسك (Cohesion) ويُرمز لها بالحرف (C)
- ب- الاحتكاك بين الحبيبات الصلبة للتربة، وتعبّر عنه زاوية الاحتكاك الداخلي (Angle of internal friction) ويُرمز لها بالحرف اللاتيني (ϕ).
وقد كان العالم الفرنسي كولوم (Columb) أول من ربط بين زاوية الاحتكاك والتماسك بين الحبيبات، وذلك سنة 1773 في معادلته:

$$\tau = C + \sigma \tan \phi (1-4)$$

حيث :

τ - مقاومة التربة للقص

C - قوة التماسك بين الحبيبات

σ - إجمالي الاجهاد العمودي عند مستوى القص

ϕ - زاوية الاحتكاك الداخلي.

ويمكن كتابة المعادلة (1-4) باستعمال قيم الاجهاد الفعّال (Effective

stress):

$$\tau' = C' + \sigma' \tan \phi' (2-4)$$

حيث:

C', ϕ' - قوة التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي منسوبة الى الاجهاد الفعال

σ' - الاجهاد الفعال العمودي (Normal effective stress):

$$\sigma' = \sigma - u (3-4)$$

حيث:

u - ضغط الماء المسامي (Pore-water pressure).

ويبين الشكل (3-4) التمثيل البياني لمعادلة كولوم.

وأما الفحوصات المخبرية التي تؤدي الى ايجاد معاملات القص فهي:
 1- فحص القص المباشر (Direct shear test) ويتم اجراؤه داخل ما يسمى
 بـ صندوق القص (Shear box)، حيث تُؤخذ ثلاث عينات متشابهة، ويتم
 تعريض كل عينة لحمل عمودي مختلف ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)، وبعدها يتم
 تعريض كل عينة لقوة قص أفقية (τ_1, τ_2, τ_3)، وتكون نتيجة الفحص

رسم المنحنى ($\sigma \rightarrow \tau$) (شكل 4-4)، ومنه يتم إيجاد قيم زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) والتماسك (C) كما هو مبين.

شكل (4-2) النواة المترابطة التي تتشكل بعد مرحلة الانضغاط

شكل (3-4) التمثيل البياني لمعادلة كولوم لاجداد مقاومة القص

ملاحظة: معروف أن التربة الطينية فيها تماسك أقوى بين حبيباتها (C) واحتكاك داخلي أقل (ϕ)، والتربة الرملية والحصوية فيها احتكاك أقوى بين الحبيبات وتماسك أقل. وفي الظروف المثالية للتربة الطينية المتماسكة تكون ($\phi=0$)، وللتربة الرملية والحصوية ($C=0$)، ولهذا يكون الخط الممثل لمعادلة كولوم (1-4) موازياً لمور السينات في حالة الطين (شكل 5-4 أ)، ومنطلقاً من الصفر في حالة الرمل (شكل 5-4 ب).

2- فحص القص ثلاثي المحاور (Triaxial shear test) - ويتم فيه تعريض ثلاث عينات اسطوانية الشكل (طولها ضعف قطرها) الى ضغط من كل الجهات داخل وعاء اسطواني محكم يسمى خلية (Cell)، وذلك من خلال ضخ ماء داخل الخلية ليحيط بالعينة التي تكون محفوظة داخل غشاء

مطاطي (Rubber membrane)، ويكون هذا الضغط ثابتاً ويرمز له (σ_3) . بعد ذلك، ومع وجود الضغط الثابت (σ_3) حول العينة، يتم التأثير بحمل عمودي خارجي متصاعد تدريجياً حتى انهيار العينة. ويبين الشكل (4-6) مبدأ القص ثلاثي المحاور /7/.

ويتم في نهاية هذا الفحص رسم المنحنى $(\sigma \rightarrow \tau)$ الموضح في الشكل (4-7)، وذلك برسم دوائر مور (Mohr circles) لكل عينة. مثلاً للعينة الأولى تُنَبَّط قيم الضغط (σ_3) و (σ_1) على المحور الأفقي (σ) ومن منتصف المسافة $(\sigma_1 - \sigma_3)$ يُرسم نصف الدائرة الأول، وهكذا. وبعد رسم دوائر مور، يتم توصيل مماس بينها كما هو في الشكل (4-7) يكون هو الممثل لمعادلة الخط المستقيم {معادلة كولوم (104)}.

شكل (4-4) التمثيل البياني لنتائج فحص القص المباشر

شكل (4-5) - تمثيل معادلة كولوم بيانياً:

(أ) في حالة $(\phi=0)$

(ب) في حالة $(C=0)$

شكل (4-6) مبدأ القص ثلاثي المحاور

شكل (4-7) منحني نتائج فحص القص ثلاثي المحاور

ونشير هنا الى تعدد طرق اجراء الفحص في الجهاز ثلاثي المحاور، أما الاشكال الثلاثة الرئيسية للفحص فهي:

أ - الفحص على عينة غير متضاغطة-غير مُصَرَّفَة (Unconsolidated- UU) وفيه يتم تعريض العينة داخل خلية الجهاز لضغط من كل

الجوانب (σ_3)، ثم يتم التأثير بالضغط الخارجي ($\sigma_1 - \sigma_3$) فوراً دون السماح بحصول تصريف للمياه (Drainage) من العينة.

ت- الفحص على عينة متضاغطة-غير مُصَرَّفَة (Consolidated-Undrained CU) وفيه يتم السماح بحصول التصريف في العينة أثناء تعرضها للحمل من كل الجوانب (σ_3)، الذي يستمر تأثيره على العينة حتى إتمام تضاغطها. بعدها يتم التأثير بالضغط الخارجي ($\sigma_1 - \sigma_3$) دون السماح بحدوث التصريف.

ث- الفحص على عينة متضاغطة-مُصَرَّفَة (Consolidated-Drained CD) وفيه يتم السماح بحصول التصريف من العينة أثناء تعريضها للحمل من كل الجوانب (σ_3)، وكذلك أثناء تعريض العينة للضغط الخارجي ($\sigma_1 - \sigma_3$) بعد انتهاء تضاغطها.

3- فحص الانضغاط اللامحصور (Unconfined compression test) ويتم خلاله تعريض عينة اسطوانية الشكل (طولها ضعف قطرها) لضغط محوري بشكل متصاعد تدريجياً حتى انهيار العينة. وحسب الشكل (4-4) (6)، وحيث أن الضغط ($\sigma_3 = 0$)، فإن الضغط الذي يحدث عنده الانهيار، ويرمز له بـ (q_u) يكون مساوياً (σ_1):

$$q_u = \sigma_1$$

ويكون الخط الذي يمثل معادلة كولوم موازياً للمحور الأفقي (σ)، ومن الشكل (4-8) نستنتج أن:

$$C = \frac{q_u}{2} \quad (4-4)$$

أي أن قوة التماسك بين حبيبات التربة (الطينية) هي نصف قيمة مقاومة الضغط اللامحصور لها.

شكل (4-8) التمثيل البياني لفحص مقاومة الانضغاط اللامحصور

ونشير أخيراً، إلى أن فحص القص المباشر للتربة كان منتشرًا بشكل واسع، إلا أن التقدم الذي طرأ على علم ميكانيكا التربة قد أدى إلى تراجع شعبية هذا الفحص، وذلك للأسباب التي يلخصها ج. بولز (J. Bowles) كما يلي /8/ :

1- تغيّر مساحة العينة أثناء الفحص،

- 2- سطح الانهيار الحقيقي ليس مستويًا كما كان التصور عند تصميم صندوق القص، واجهاد القص لا يتوزع بشكل منتظم على سطح الانهيار كما كان مُفترَضاً
- 3- العينات المستعملة في الفحص صغيرة الأبعاد مما يزيد من نسبة حصول الأخطاء عند تحضيرها،
- 4- الحجم المحدود للعينة يحول دون القيام بدراسات تفصيلية لضغط الماء المسامي (Pore-water pressure) أثناء الفحص،
- 5- لا يمكن إيجاد قيم معامل المرونة (Modulus of elasticity) ومعامل بواسون (Poisson's ratio) من هذا الفحص،
- 6- تطوير جهاز المحاور الثلاثة (Triaxial apparatus).

إلا أن انتشار هذا الفحص قد عاد مرة أخرى للأسباب التالية، كما يوردها ج.بولز نفسه:

- 1- وجود صعوبة نسبية في إجراء وتفسير نتائج فحص القص ثلاثي المحاور، وخصوصاً عند قياس ضغط الماء المسامي،
- 2- لا يأخذ حجم العينة المستعملة وقتاً طويلاً لعمل فحص القص السريع بعد التضاضط (Consolidated-Undrained CU)، وتجربة القص البطيء بعد التضاضط (Consolidated-Drained CD)، لأن الزمن اللازم لتصريف المياه قليل نسبياً، حتى بالنسبة للمواد ذات معامل النفاذية القليل،
- 3- إدخال صندوق القص المربع الشكل الذي يُمكن من أخذ تقليل مساحة العينة عند الفحص بعين الاعتبار،
- 4- جهاز القص المباشر مناسب أكثر لأجهزة القراءة الالكترونية، مما لا يتطلب بقاء الفاحص الى جانب الجهاز أثناء الفحص،

5- التقارب الموجود بين قيم (C) و (ϕ) الناتجة من فحص القص المباشر وتلك الناتجة من فحص القص ثلاثي المحاور.

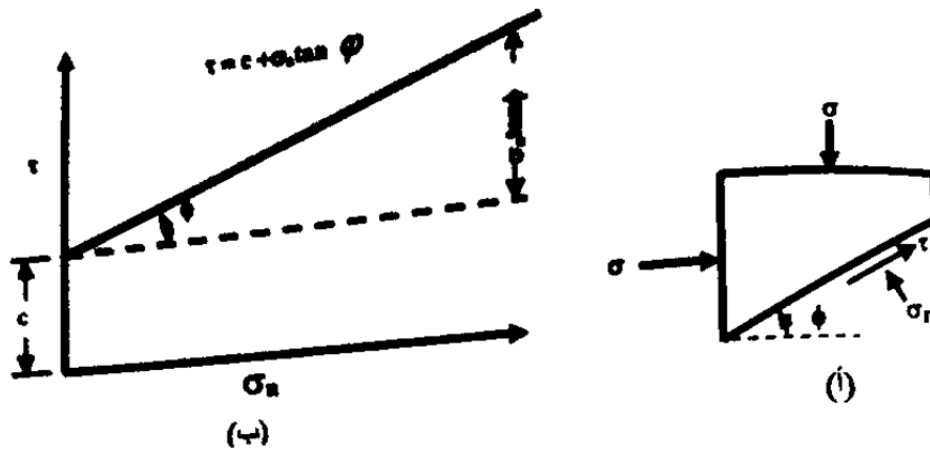
مقاومة قص التربة

يمكن تعريف قوة القص للتربة بانها مقاومة التربة لاجهادات القص المعرضة لها, فعندما تتعرض التربة لاجهادات فانها سوف تفشل في القص والذي سيؤدي بدوره الى حدوث تشوهات لدنة نتيجة الحركة على سطح الانزلاق



• نظرية كولوم-مور (Coulomb-Mohr Theory)

- تعد هذه النظرية هي الادق والاكفا لحساب مقاومة التربة للانزلاق. فقد اقترح كولومب 1776 بان التربة تفشل بالقص عندما يتجاوز اجهاد القص المسلط على سطح الانزلاق المقاومة التي يوفرها كل من الاحتكاك friction والتماسك cohesion وان الاجهادات المؤثرة في السطح تميل بزاوية الى الافق مقدارها (ϕ)



الشكل (7-2) : نظرية كولوم

حيث إن

= τ إجهاد القص على المستوي.

= σ_v الإجهاد العمودي على المستوي.

= σ_1 الإجهاد الراسي (الرئيس) (major).

= σ_3 الإجهاد الأفقي (الثانوي) (minor).

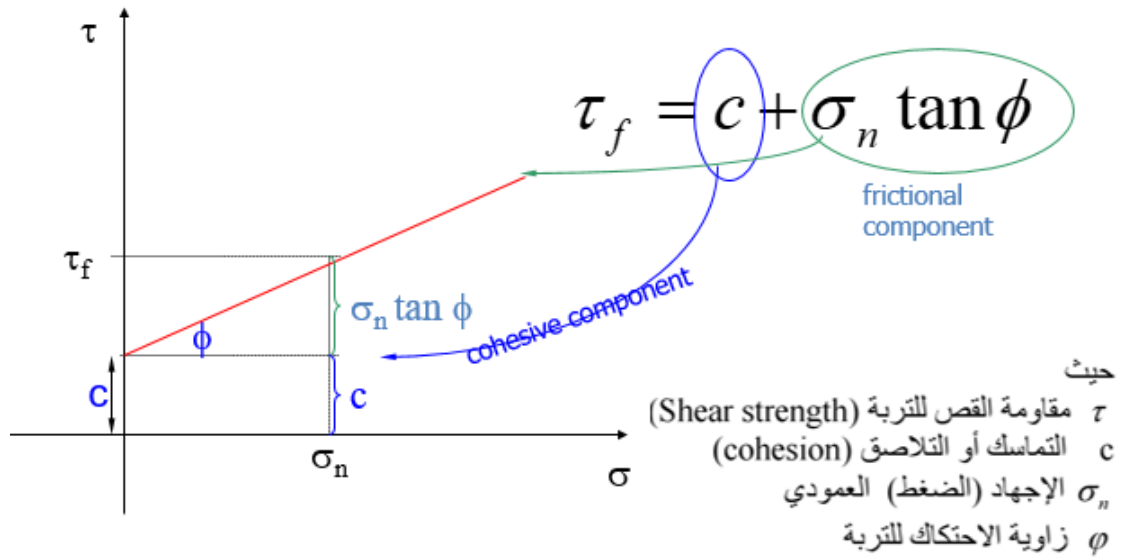
= ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي.

= c التماسك.

= α زاوية ميلان المستوي المحدد.

تتألف قوة القص على مركبتين

1. الاحتكاك Fraction



2. التماسك cohesive

2/2-7 الاحتكاك والتماسك

تعرف معادلة كولوم إجهاد القص من حيث زاوية الاحتكاك (ϕ) والتماسك (c)، وهذه هي الثوابت التجريبية فقط، وتعتمد قيمة هذه الثوابت على الحالة الطبيعية للتربة وكذلك على طريقة الفحص. وتشير هذه الثوابت إلى أن مقاومة القص للتربة تعتمد إلى حد كبير على الاحتكاك بين حبيباتها (friction) وعلى تماسكها (cohesion).

1/2/2-7 الاحتكاك (Friction)

تعتمد مقاومة القص في التربة خشنة الحبيبات (coarse-grained) أو التربة غير المتماسكة (cohesionless soil)، إلى حد كبير على:

- 1- خشونة (roughness) سطح الحبيبات.
- 2- تداخل (Interlocking) الحبيبات وحالة الحدل (compaction).
- 3- مقدار ضغوط التماس (contact pressures).

4- الالتصاق (adhesion) في الترب الرطبة ناعمة الحبيبات (~~fine-grained wet soils~~) نتيجة تكون طبقة رقيقة من الماء بين نقاط التماس.

2/2/2-7 التماسك (Cohesion)

في التربة ناعمة الحبيبات (fine-grained) أو التربة المتماسكة (Cohesive soil) يقدر أن مقاومة القص تعتمد إلى حد كبير على:

1. المحتوى المائي للتربة.
2. الشكل والحجم والتعبئة (packing) للحبيبات (particles).
3. الالتصاق الناتج من تكون طبقة رقيقة من الماء بين الأسطح الملامسة.

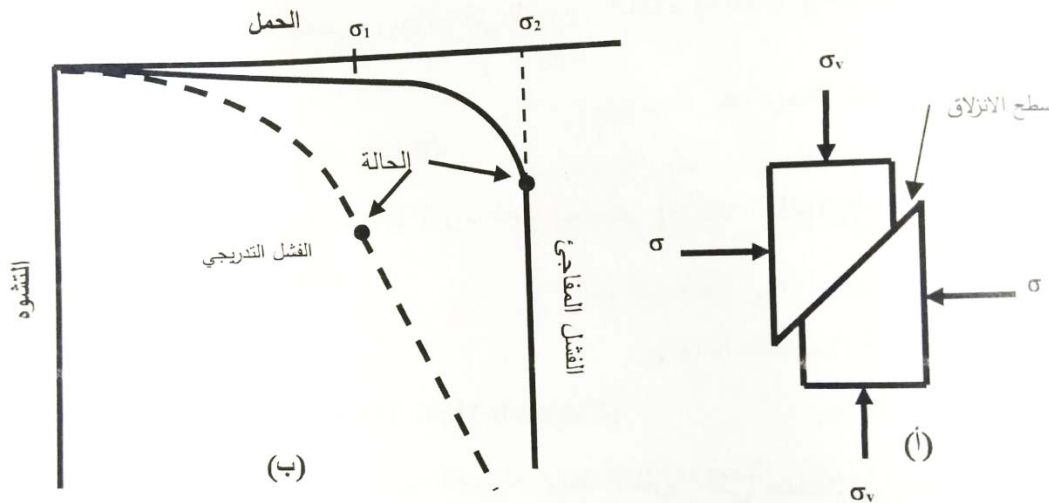
ملاحظات: غالباً ما يشار إلى التربة على النحو التالي:

- أ) تربة من نوع (ϕ - soil) عندما تكون قيمة (c) مساوية إلى الصفر.
- ب) تربة من نوع (c - soil) عندما تكون قيمة (ϕ) مساوية إلى الصفر.
- ج) تربة من نوع (c - ϕ - soil) عندما لا تكون قيمة كل من (c) و (ϕ) مساوية إلى صفر.

انواع فشل التربة في القص

1. الفشل المفاجئ: ويحدث في الترب الطينية المتماسكة الصلبة (hard cohesive soils) , يحدث في هذه الحالة الفشل الموقعي (local failure) عند نقطة واحدة يليه فشل فجائي عام عند سطح الانزلاق ثم يتطور الى تشوه كبير.

2. الفشل التدريجي : ويحدث في التربة الطينية الرخوة (soft clay) والترب الحبيبية المفككة (loose granular soil) ، يحدث تطور التشوه بطيئا عند سطح الانزلاق



الشكل (1-7) : أطوار فشل التربة

الهدف من دراسة مقاومة قص التربة

1. حساب قابلية التربة اسفل الاسس.
2. دراسة اتزان الميول الجانبية side slope في الاعمال الترابية مثل السدود الترابية والقنوات والطرق والسكك.
3. حساب قيم الضغوط الجانبية والمؤثرة في الجدران الساندة (retaining walls) او الركائز اللوحية (sheet piles)

- 4. حساب قابلية تحمل الركائز (pile)
- 5. دراسة الحلول الهندسية المناسبة للترب ذات المشاكل مثل الترب الطينية الرخوة (soft clay soils)

فحص القص المباشر Direct shear test

* مقاومة التربة للقص:

هي أقصى إجهاد مُقاوم للقص تتعرض له التربة ويحدث عنده الانهيار ، أو هو الإجهاد المقاوم لتشكل قص مستمر مؤثر على حبيبات التربة أو كتلة التربة .

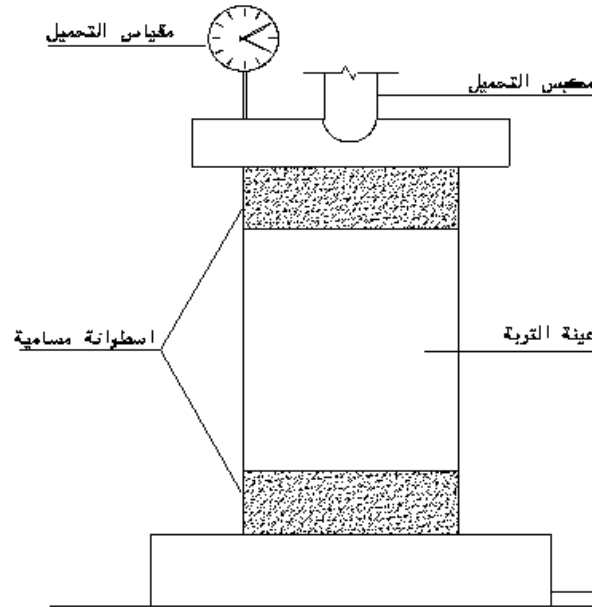
يسمى هذا الاختبار اختبار القص المباشر لأنه يمكن قياس الإجهاد وإجهاد القص **مباشرة**

- ١ . تثبيت جزئي الصندوق العلوي والسفلي بواسطة المسامير الخاصة بذلك
- ٢ . وضع العينة بعناية داخل صندوق القص
- ٣ . يوضع أسفل العينة وأعلىها داخل الصندوق لوح معدني
- ٤ . يوضع اللوح المعدني السميك الخاص بارتكاز الحمل عليه فوق اللوح المعدني والنتوءات (لتوزيع الاحمال)
- ٥ . توضع الرافعة على اللوح المعدني السميك في المكان المخصص لذلك
- ٦ . توضع الاحمال المطلوبة على الرافعة
- ٧ . يتم ضبط حلقة قياس الحمل والرافعة الأفقية ومقياس الحركة
- ٨ . يتم فتح مسامير ربط الصندوق حتى يصبح الجزء العلوي حر الحركة
- ٩ . يتم استخدام جهاز الحركة الأفقية لدفع الجزء العلوي من الصندوق
- ١٠ . مع استمرار الحركة إلى أن تنهار العينة وتتوقف القراءة نضيف أحمال ونعيد الحركة ونسجل الحمل وقراءه الحركة الأفقية عند الانهيار عدة مرات
- ١١ . بعد الانتهاء من الاختبار يتم رفع الاحمال الموجودة وتضبط المقاييس الخاصة بالقراءة على العينة وإجراء الحسابات

فحص الضغط اللاحصور **unconfined compression test**

يعتبر هذا الفحص من الفحوصات البسيطة لاجاد مقاومة القص في التربة الطينية المشبعة التي هي عبارة عن التماسك بين الحبيبات ويرمز لها بـ(cu). يتلخص هذا الفحص بتسليط قوة ضاغطة على العينة بالاتجاه العمودي اما الاجهاد الجانبي فتكون قيمته مساوية للصفر أي ($\sigma_3=0$) ويتم التسليط كما هو مبين حتى تبدي العينة عدم القابلية على مقاومة الضغط المسلط ثم تحسب المساحة لمقطع النموذج عند الاخفاق لاجاد قيمة الجهد الرئيسي الاكبر (61)





لما كانت قيمة $(\sigma_3=0)$ و (σ_1) يحصل عليها نتيجة قسمة الثقل النهائي على مساحة المقطع النهائي (A_2) فان دائرة مور يمكن رسمها كما في الشكل ادناه وان

$$A_2 = \frac{V}{L_1 - \Delta L}$$

$$A_2 = \frac{A_1}{1 - \frac{\Delta L}{L_1}}$$

حيث ان:

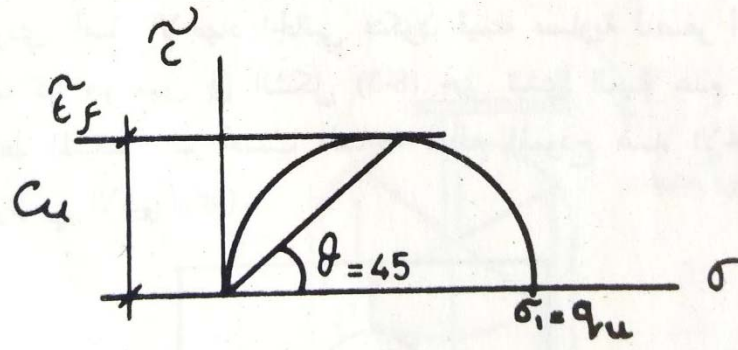
$A_1 =$ مساحة المقطع الابتدائي للعينة

$A_2 =$ مساحة المقطع الابتدائي للعينة

$L_1 =$ الطول الابتدائي للعينة

$\Delta L =$ التغير في طول العينة

$$\tau = c_u = q_u / 2$$



الشكل (9-3)
دائرة مور لفحص الضغط اللامحصور

تجربة التحميل غير المحصور

اهداف التجربة

الهدف من هذه التجربة هو قياس ضغط التحميل غير المحصور لعينة من التربة المتماسكة المادة النظرية للتجربة
ان معرفة مقاومة التربة على القص امر اساسي في مختلف مسائل ميكانيك التربة كتصميم الاساسات وتوازن المنحدرات وتصميم الجدران الاستنادية وحساب اساسات الطرق وغير ذلك وتصنف التربة من حيث مقاومتها على القص الى نوعين اساسيين

اولا

التربة المتماسكة

ثانيا

التربة غير المتماسكة

وتختلف المقاومة على القص لهذين النوعين ففي التربة المتماسكة يوجد تجاذب بين ذرات التربة ناتج عن طبيعة سطح الحبات واقطارها اما التربة غير المتماسكة فتتألف من حبات مفككة وغير متلاصقة مع بعضها البعض
وتعرف المقاومة على القص لتربة ما بأنها اكبر اجهاد قص يمكن ان تتحملة التربة حتى تنهار بعد ذلك وتعطي سطح انزلاقي واضح او منطقة قص واسعة

ويمكن تصنيف طرق قياس مقاومة التربة ضد القص الى نوعين

القص المباشر بآسطة علبة القص او المروحة الدوارة
القص غير المباشر بواسطة الضغط الحر او الضغط الثلاثي المحاور

تجربة الضغط الحر الاحادي

تستخدم هذه التجربة في حالة الاتربة المتماسكة فقط حيث توضع العينة الاسطوانية بين فكي الة الضغط وتضغط حتى تنكسر ان مبدأ عمل هذه التجربة شبيه بمبدأ تجارب كسر الحجارة او غير ذلك من التجارب الا انه يوجد جهاز خاص في حالة التربة المتماسكة يمكن استعماله في المختبر او في الموقع حيث يرسم الجهاز مخطط الاجهادات والتغيرات مباشرة على صفيحة ورقية
الاجهزة والادوات المستخدمة في التجربة

جهاز الضغط غير المحصور ويتألف من فكين احدهما العلوي وهو ثابت والآخر السفلي المتحرك بحيث يتحرك بسرعة معينة على العينة فتنتقل القوة الى الحلقة الفولاذية مرنة نتمكن من قياس التغيرات فيها من معرفة مقدار القوه المطبقة
اسطوانة معدنية دائرية لتشكيل العينة وعادة يكون طولها ضعف عرضها
ويستعمل معها عامود لاجراج العينة
فرن تجفيف

ميزان

ادوات قطع لتسوية سطحي العينة العلوي والسفلي

خطوات التجربة

يتم تحضير العينة من تربة غضارية متماسكة ويعبأ قالب الاسطوانى بالتربة ثم نخرج العينة من الاسطوانة بواسطة عمود الضغط المخصص لذلك ونعمل على تسوية سطحي العينة بأداة القطع المخصصة لذلك
 بعد اخراج العينة يتم قياس ابعدها ارتفاعها وقطرها
 توزن العينة وذلك لمعرفة كثافتها بمعرفة حجمها ووزنها
 توضع العينة في جهاز الضط الحر بحيث يكون محورها الرأسي عموديا على قرص التحميل قدر الامكان
 يتم تحريك الفك السفلي المتحرك بالجهاز حتى تنطبق سطح العينة العلوي على الفك العلوي دون التأثير على العينة بأي قوى ثم يتم تصفير العداد الخاص بقياس الحمل العامودي وكذلك العداد الذي يقيس الهبوط العمودي للعينة
 نبدأ بتبقيق الحمل وأخذ قراءة العدادات بانتظام ونستمر في ذلك حتى تنهار العينة ويحدث فيها سطح انزلاقي واضح تشقق
 نأخذ عينة من عينة الفحص بعد ان تنهار العينة وذلك لمعرفة نسبة رطوبتها

النتائج والحسابات

اولا ابعاد العينة ارتفاع سم
 قطر سم
 مساحة سطح العينة سم

$$A_2 = \frac{V}{L_1 - \Delta L}$$

$$A_2 = \frac{A_1}{1 - \frac{\Delta L}{L_1}}$$

حيث ان:

$A_1 =$ مساحة المقطع الابتدائي للعينة

$A_2 =$ مساحة المقطع الابتدائي للعينة

$L_1 =$ الطول الابتدائي للعينة

$\Delta L =$ التغير في طول العينة

$$\tau = c_u = q_u / 2$$

فحص الضغط ثلاثي المحاور Triaxial Compression

ان التربة الطينية لها سلوكية مختلفة وهي اكثر تعقيدا من التربة الرملية عند تعرضها الى اجهادات خارجية وذلك بالنظر لقلّة قابليتها على تنافذ الماء. لهذا السبب هناك انواع عديدة من هذه الفحوصات وبما ان الفحص يشمل مرحلتين لتسليط الاجهادات الاولى عند تسليط (σ_3) والآخرى عند تسليط (σ_1) فيمكن اعتبار الفحص من الفحوصات المركبة يتم عمل هذا الفحص بطريقة مشابهة لفحص الضغط غير المحصور ماعدا أن الاساس في هذا الفحص هو تسليط ضغوط بثلاثة اتجاهات رئيسية متعامدة على بعضها البعض ولذلك سمي الفحص (فحص الضغط بثلاثة محاور) ويكون الضغط محصور عن طريق إدخال العينة في خلية مغلقة ، وإدخال الهواء أو الماء المضغوط للعينة المحاطة بغشاء مطاطي ، ثم يتم تحميل العينة رأسياً حتى تنكسر ، ويسجل مقدار الضغط الرأسي والضغط الجانبي الثابت ، ويوضح الشكل التالي الجهاز المستخدم في ذلك ، ويتم تكرار الاختبار بوضع عينة أخرى وزيادة الضغط الجانبي. ومن نتائج الاختبار يتم رسم دائرة " مور " ومنها يتم تحديد زاوية الاحتكاك ومقدار تماسك التربة ، وهناك ثلاثة أنواع لهذا الاختبار هي:

1- الفحص البطيئ (تصريف الماء) فحص مدمج ومسموح بتصريف المياه S-SLOW (CD) (test) .

في هذا الفحص يسمح بتصريف ماء التربة خلال مرحلة تسليط الاجهاد الرئيسي الاصغر حتى تتم عملية انضمام التربة وكذلك خلال المرحلة عند تسليط الاجهاد الرئيسي الاكبر او الجهد الحارف بشكل تدريجي مع الحفاظ على عدم ارتفاع ضغط المسام عن قيمة الصفر، ومنه يمكن الحصول على القيم الفعلية لكل من (ϕ, C) ويستعمل هذا الفحص في احتساب درجة الاستقرار للمدى البعيد.

2- فحص الانضمام وغير مسموح بتصريف المياه (CU test) .

وهنا يسمح بتصريف الماء تحت تاثير الاجهاد الرئيسي الاصغر (σ_3) حتى يصل انضمام تربة النموذج الى الحد المطلوب، ثم يسقط الجهد الرئيسي الاكبر (σ_1) دون السماح لماء العينة

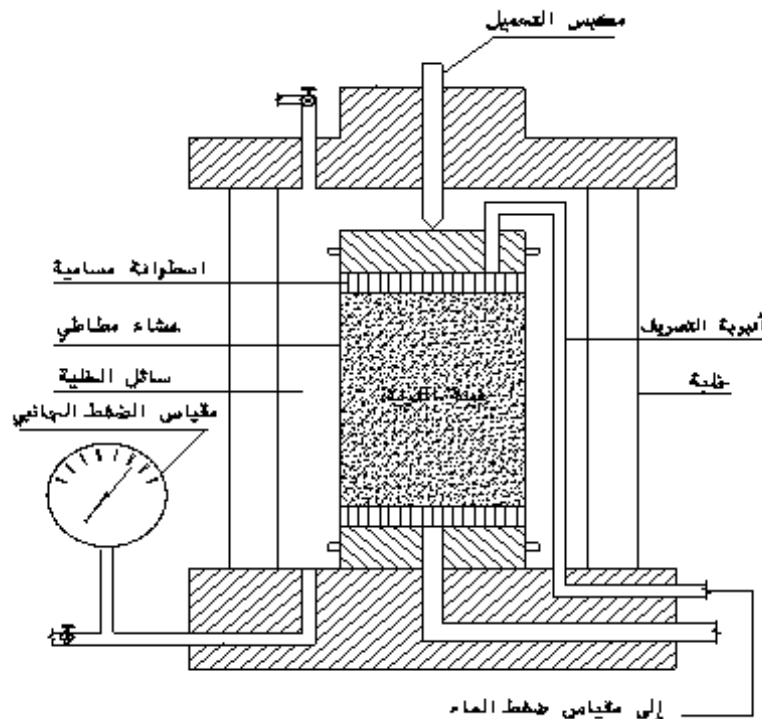
بان يبزل وفي هذه الحالة يكون بالامكان قياس ضغط المسام. ويستخدم هذا الفحص في اعمال السدود وخاصة عندما تتعرض التربة الى ظروف سحب ماء مفاجئ وهذا كثير الحدوث.

3- الفحص غير المبزول (السرير) فحص غير مدمج وغير مسموح بتصريف المياه
Q- quique (UU test) .

في هذا الفحص لايسمح بتصريف ماء العينة وهذا يعني تلاشي ضغط ماء الفجوات خلال الفحص وبالامكان قياس هذا الضغط في عينة التربة الطينية المشبعة ويستعمل في اعمال المنحدرات الترابية لغرض استخدامها لايجاد الحالة المستقرة على المدى القريب.

4- الفحص تحت الضغط العكسي $\sigma_3=0$ unconfined compression test (UC test)

يجري هذا الفحص على عينة التربة غير المشبعة اشباعا كاملا ويراد معرفة سلوكيتها في ظرف الاشباع ،عندئذ يسلط ضغط عكسي لرفع ضغط المسام وفي نفس الوقت يسلط ضغط الخلية على العينة , وبذلك يمكن ضمان اشباع النموذج وخلال وقت قصير.



يتم وضع عينة التربة داخل غمد المطاط (rubber sheath) والذي يكون محصورا من الأعلى والأسفل بواسطة حلقات دائرية من المطاط (O-rings) . ولغرض إجراء الفحوص مع قياس ضغط ماء المسام، توضع أقراص مسامية (porous discs) في الجزء السفلي من العينة عادة، وأحيانا في الجزء العلوي منها. ويمكن تجهيز ورق ترشيح لغرض البزل حول جميع أنحاء خارج العينة من أجل تسريع عملية الانضمام. و يمكن قياس ضغط ماء المسام المتولد داخل العينة خلال الفحص بواسطة محولات الضغط. ويتكون فحص القص ثلاثي المحاور من مرحلتين:

المرحلة الأولى: يتم فيها وضع عينة التربة في الخلية وبعد ذلك يسلط ضغط الحصر (confining pressure) (σ_3) .

المرحلة الثانية: يتم فيها تسليط اجهاد محوري (ويدعى أيضا بالإجهاد الحارفي، deviator stress) والذي يحدث اجهادات القص (shear stresses) في العينة. يتم زيادة الاجهاد المحوري باستمرار حتى فشل العينة.

يمكن قياس الاجهادات المسلطة و التشوه المحوري (axial strain) و ضغط ماء المسام بالإضافة إلى التغير في حجم العينة خلال تلك المرحلتين.

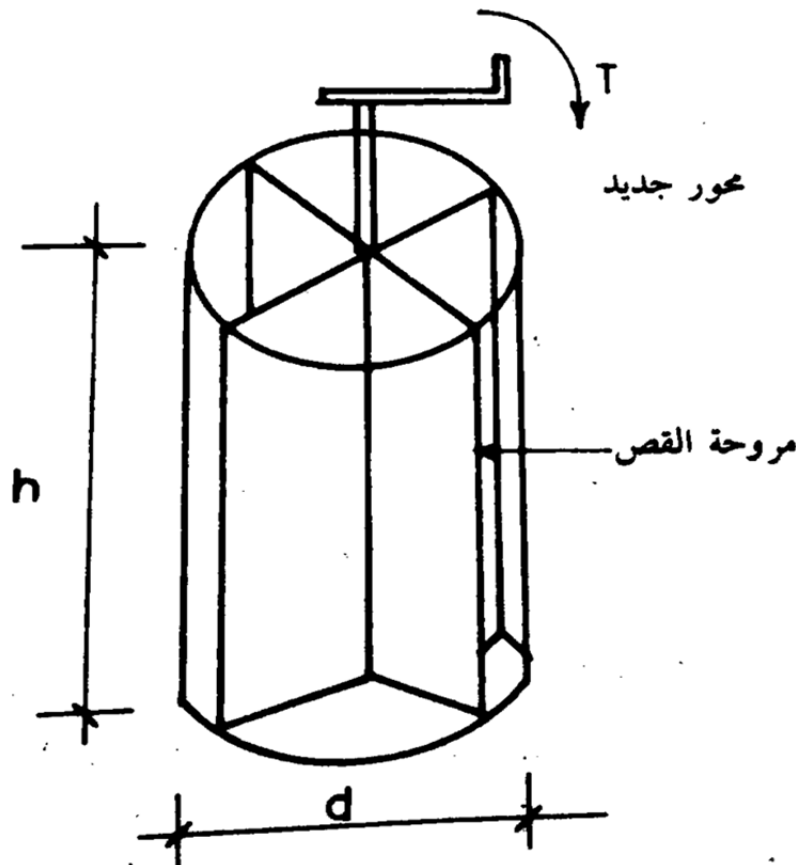
ان لفحص القص ثلاثي المحاور مزايا عديدة أكثر من فحص القص المباشر هي:

- يتم إخضاع عينات التربة لاجهادات وتشوهات منتظمة (uniform stresses and strains).
- يمكن تسليط مجموعات مختلفة من اجهادات الحصر والاجهادات المحورية.
- يمكن اجراء فحوص مبزولة وغير المبزولة.
- يمكن قياس ضغوط ماء المسام في الفحوص غير المبزولة
- يمكن تحديد السلوك الكامل للإجهاد والانفعال (stress-strain behavior).

فحص القص الحقلي

(Vane Sher Test) : فحص القص المروحي :

يستعمل هذا الفحص موقِعياً أو في المختبر لإيجاد مقاومة القص في التربة الطينية الرخوة نوعاً ما وهو غير مناسب لأنواع الترب الأخرى. يحتوي الجهاز على مروحة معدنية للقص كما في الشكل (3-7)، لها أربعة شفرات رقيقة ومستطيلة الشكل مصنوعة من الحديد غير القابل للصداء. ترتبط هذه المروحة بمحور من حديد الشد العالي. يكون طول الشفرات ضعف عرضها وقياساتها الاعتيادية هي (150x75، 100x50mm) وقطر المحور بحدود (12.5mm). وعند إجراء الفحص تدفع المروحة داخل التربة المراد معرفة قوتها إلى عمق يساوي ثلاث مرات عرض المروحة ويجب أن يتم ذلك بكل دقة وعناية للمحافظة على سلامة العينة، ومن ثم يسلط عزم الإلتواء بصورة تدريجية عند النهاية العليا للمحور حتى حصول الاخفاق في العينة أي عند عدم وجود أية مقاومة ملحوظة. على أن يكون معدل دوران مروحة القص بين (6"–12") في الدقيقة، وتحسب مقاومة القص كما يلي:



$$c_u = \frac{T}{\pi d^2 \left(\frac{h}{2} + \frac{d}{6} \right)}$$

5- التقارب الموجود بين قيم (C) و (ϕ) الناتجة من فحص القص المباشر وتلك الناتجة من فحص القص ثلاثي المحاور.

2-4 فحص القص المباشر للتربة (Direct Shear Test of Soil)

(1) المراجع القياسية (Standard references):

- ASTM D-3080.

(2) الاجهزة اللازمة (Equipment):

صندوق القص المباشر (Direct shear box) ويبين الشكل (4-9) اجزاء هذا الجهاز.

(3) الطريقة (Procedure):

أولاً - فحص التربة غير المتماسكة (الرملية والحصوية):

1- يوزن وعاء فيه الرمل الجاف المراد فحصه بحيث تكون الكمية

كافية لتحضير ثلاث عينات متشابهة في الوزن والكثافة،

2- يتم إدخال براغي الفصل من النصف العلوي لصندوق القص لربط نصفي الصندوق،

3- تُؤخذ قياسات الصندوق لحساب مساحة سطح العينة،

4- توضع العينة داخل صندوق القص بعناية، ثم يوضع قرص التحميل مع القرص المسامي المسنن (Serrated porous disc)،

5- يتم تسليط الحمل العمودي المطلوب (N_1) مع أخذ وزن قرص التحميل والجزء العلوي من الصندوق بعين الاعتبار كجزء من

(N_1)،

6- يتم فك البراغي التي تربط الجزء العلوي من الصندوق بجزئه السفلي،

شكل (4-9) - صندوق القص المباشر

- 7- يتم تثبيت ساعتى القياس لقراءة التشوهات الافقية والعمودية،
- 8- يتم البدء بالقص بعد توقف ساعة قراءة التشوهات العمودية، أي بعد أن تأخذ العينة مدى هبوطها تحت تأثير الحمل العمودي (N_1)،
- 9- عند استقرار الهبوط العمودي، يتم البدء بتسليط الحمل الافقى (T_1) مع أخذ قراءات ساعة التشوهات الافقية كل 15 ثانية للدقيقتين الاوليين، وكل 30 ثانية للوقت المتبقي،

10- عند انهيار العينة (حصول القص) يتم رفع العينة من الصندوق،

11- تتم إعادة الخطوات (1-10) على العينتين الباقيتين ذات الوزن والكثافة المشابهين لتلك التي للعينة الاولى، وباستعمال حمل عمودي (N_2) للعينة الثانية وحمل (N_3) للعينة الثالثة بحيث يكون $(N_1 < N_2 < N_3)$.

ثانياً - فحص التربة المتماسكة (الطينية):

يجري فحص القص للتربة الطينية المتماسكة في صندوق القص المباشر بنفس الطريقة التي يجري للتربة غير المتماسكة، باختلاف بسيط يتمثل في أن العينة في هذه الحالة تكون سليمة التركيب (Undisturbed)، ويجري قطعها من عينة أكبر وإدخالها في صندوق القص. ويتم هنا انهاء تضاعط العينة (Consolidation) تحت تأثير الحمل العمودي قبل القيام بفصل جزئي صندوق القص (خطوة رقم 5)، وذلك لضمان عدم خروج العينة الطرية من الصندوق عند القيام بعملية الفصل.

4- الحسابات (Calculations):

يتم اجراء الحسابات التالية بنهاية فحص القص سواء كانت التربة متماسكة أو غير متماسكة:

أ- يُحسب الاجهاد العمودي (Normal stress) بالمعادلة:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A}$$

ب- يُحسب الاجهاد الذي أحدث القص (Shear stress) بالمعادلة:

$$\tau_i = \frac{T_i}{A}$$

حيث:

i - رقم العينة ،

A - مساحة سطح العينة.

6- الرسم (Plotting):

أ- يُرسم منحنى العلاقة بين τ و σ ومنه يتم إيجاد قوة التماسك (C) وزاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ).

ب- عند الطلب، يمكن رسم منحنى العلاقة بين التشوه الأفقي (Horizontal displacement) واجهاد القص، وكذلك العلاقة بين التشوه الأفقي والتشوه العمودي (Vertical displacement).

ويبين النموذج (1-4) والمنحنيات المرافقة (شكل 4-10) مثالاً لحسابات ونتائج فحص القص المباشر. والنموذج والمنحنيات مقتبسة من المرجع /7/.

نموذج (1-4)

رقم العينة	1	2	3
الاجهاد العمودي σ_n (كيلونيوتن/م ²)	36	80	146
اجهاد القص عند الانهيار τ (كيلونيوتن/م ²)	32	70	128
التشوه الافقي (ملم)	2.0	2.5	2.2
الهبوط (ملم)	16.0-	0.15-	0.14-
الكثافة الجافة (غم/سم ³)	1.70	1.70	1.71



شكل (10-4)

من المنحنى : التماسك (C) = صفر
زاوية الاحتكاك الداخلي $(\phi) = 41$ درجة (ميل المنحنى)

3-4 فحص الانضغاط والقص ثلاثي المحاور (Triaxial Compression and Shear Test)

1- المراجع القياسية (Standard references):

- ASTM D-2850
- BS 1377.

2- الاجهزة اللازمة (Equipment):

- أ- جهاز القص ثلاثي المحاور ويتكون من خلية شفافة مركبة على هيكل تحميل مناسب (Loading frame) (شكل 4-11)،
- ب- أدوات مناسبة لتحضير العينات وقياسها (منشار، سكين، أداة للقياس الدقيق...)،

ت- غشاء مطاطي لتغليف العينة أثناء الفحص (Rubber membrane)،

ث- فرن تجفيف وأدوات لقياس محتوى الرطوبة.

3- الطريقة (Procedure):

- 1- يتم تحضير ثلاث عينات متشابهة (على الأقل) ممثلة للتربة التي يُراد فحصها، وتكون هذه العينات اسطوانية الشكل ذات قطر يساوي نصف الطول ($D = L/2$)، وغالباً يكون الطول 76 ملمتراً والقطر 38 ملمتراً.
ملاحظة: الاقطار الشائعة للعينات هي 1.4 و 2.8 إنش في الولايات المتحدة الأمريكية، 38 و 100 ملم في بريطانيا و 50 ملم في كندا والدول الاسكندنافية. ويتم أخذ العينة سليمة التركيب بقطعها من كتلة أكبر من التربة (Block sample) أو من داخل أنبوب جمع العينات الاسطواني (Tube sampler).
- 2- يتم تغليف العينة بالغشاء المطاطي وذلك بتركيب الغشاء حولها اذا كانت طينية متماسكة سليمة التركيب، وفي حالة التربة السائبة (Loose) غير المتماسكة كالرمل، يتم سكب العينة داخل الغشاء المطاطي عبر قمع وباستعمال أدوات مناسبة لهذا الغرض،

شكل (4-11) جهاز الانضغاط ثلاثي المحاور

- 3- تُؤخذ القياسات الدقيقة للعينة (القطر والطول)، وفي حالة الطين تُؤخذ هذه القياسات قبل التغليف بالغشاء المطاطي،
 - 4- يتم جمع خلية الجهاز بوضع العينة على المكان المخصص لها في الخلية، وتملاً الخلية بالماء ليحيط بالعينة،
 - 5- يتم تعريض الماء الموجود داخل الخلية والمحيط بالعينة لضغط ثابت معين بواسطة مضخة خاصة للهواء المضغوط، ويكون هذا الضغط محيطاً بالعينة من كل جانب ويُرمز له بـ (σ_3) -انظر شكل (4-6)- ،
 - 6- يتم التأثير بضغط خارجي عمودي على العينة وذلك من خلال حمل متصاعد حتى حصول انهيار العينة. ويكون هذا الضغط أو الاجهاد هو $(\sigma_1-\sigma_3)$ -انظر شكل (4-6)-،
 - 7- بعد انهيار العينة، يتم فك الخلية واخراج العينة منها لوصف شكل الانهيار وكذلك ايجاد محتوى الرطوبة لها،
 - 8- بعد تنظيف الخلية، يتم تكرار الخطوات من (2-7) على العينتين الباقيتين، مع زيادة الضغط المحيط بالعينة الى (σ'_3) ثم (σ''_3) في المحاولتين الثانية والثالثة على التوالي بحيث يكون $(\sigma_3 < \sigma'_3 < \sigma''_3)$.
- ملاحظة : تُؤخذ قراءات التشوهات العمودية أثناء التحميل لحساب الانفعال.

4-الحسابات (Calculation):

لحساب الاجهاد العمودي (Normal stress) والانفعال (Strain) تستعمل الرموز التالية:

L_0 - الطول الابتدائي للعينة،

D - قطر العينة،

A_0 - المساحة الابتدائية لمقطع العينة

$$A_o = \frac{\pi D^2}{4}$$

X- التشوه العمودي في أية لحظة أثناء التحميل.

وتكون الحسابات كما يلي:

أ- تُحسب نسبة الانفعال بالمعادلة:

$$\varepsilon = \frac{X}{L_o} 100(\%)$$

ب- يُحسب الضغط العمودي الخارجي الذي يحصل عنده الانتهاء بالمعادلة:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A_o}$$

حيث P - الحمل العمودي المؤثر على العينة.

5-الرسم (Plotting):

أ- يُرسم منحنى العلاقة بين الضغط العمودي (σ) واجهادات القص (τ).

وتُحسب من المنحنى قيم التماسك (C) وزاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ).

ب- يُرسم، عند الطلب، منحنى العلاقة بين نسبة الانفعال واجهاد القص.

ويبين النموذج (4-12) مثلاً لنتائج وحسابات فحص القص ثلاثي

المحاور للتربة. والنموذج والمنحنيات مقتبسة من المرجع /7/.

نموذج (2-4)

118-3-54	رقم قرص التحميل	78.2	طول العينة (مم)
1.71	معامل قرص التحميل (نيوتن/تدرج)	38.0	قطر العينة (مم)
100	الضغط في الخلية (كيلونيوتن /م ²)	1134	مساحة مقطع العينة (مم ²)
2	سرعة الانفعال (% في الدقيقة)	88.7	حجم العينة (سم ³)

الانفعال (%)	قياس الاجهاد (تدرج=div)	قياس الانفعال (مم)
0	0	0.0
0.25	28	0.20
0.50	46	0.40
0.75	63	0.60
1.00	81	0.80
1.50	107	1.20
2.00	152	1.60
2.50	187	2.00
3.00	216	2.40
3.50	245	2.80
4.00	272	3.20
4.50	291	3.60
5.00	297	4.00
5.50	252	4.40

رقم العينة	الكثافة (غم/سم ³)	الرطوبة (%)	ضغط الخلية (كيلو نيوتن/م ²) σ_1	اجهاد الضغط- $(\sigma_3 - \sigma_1)$	الانفعال (%)	C (كيلونيوتن/م ²)	ϕ (°)
------------	-------------------------------	-------------	--	--------------------------------------	--------------	-------------------------------	------------

17	135	5.0	425	100	21	1.85	A
		6.2	573	200	20	1.83	B
		7.0	672	400	21	1.86	C

شكل (4-12) نتائج فحص القص ثلاثي المحاور / المرجع /7

شكل (4-9) العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) للتربة الرملية وعدد الضربات (N)

شكل (4-9) - تعديل قيم الاختراق (N) الناتجة من فحص الاختراق القياسي حسب جيس وهولتز (منحنى 1) وثوربيرن (منحنى 2).

4-9 فحص القص بالريشة

(Vane Shear Test)

يُجأ لهذا الفحص الحقلية السريع لقياس مقاومة القص (Shear strength) للتربة الطينية ذات القوام الطري (Soft)، ولا يمكن الاعتماد بنتائجه للأشكال

الأخرى من التربة، وكذلك عندما يكون الطين محتوياً على رمل (Sand) أو طمي (Silt). ولهذا السبب، فهذا الفحص محدود الاستعمال وغير منتشر في بلادنا العربية، بينما هو منتشر أكثر في أوروبا (خصوصاً في بريطانيا والدول الاسكندنافية) والولايات المتحدة الأمريكية. وسنعرض فيما يلي فكرة هذا الفحص وحسابات نتائجه باختصار.

(1) المراجع القياسية (Standard references):

- BS 1377
- ASTM D – 2573
- AASHTO T-223

(2) الأجهزة اللازمة (Equipment):

- أ. ريشة ذات أربعة ألواح (شفرات) من فولاذ لا يصدأ (شكل 9-6).
- ب. ذراع مقاوم للشد (High tensile rod) في نهايته مقبض مزود بمقياس مدرج لقياس عزم الدوران (Torque).

(3) الطريقة (Procedure):

- 1- يتم غرز الريشة والذراع في الطين تحت منسوب الحفر في البئر السبرية (Borehole) إلى عمق يُساوي ثلاثة أضعاف قطر البئر على

شكل (9-6) - أجزاء الريشة المستخدمة لفحص القص في التربة

الأقل، أو عند السطح إذا كان قياس مقاومة القص مطلوباً لتربة السطح.

2- يتم بعدها تدوير الريشة بواسطة المقبض المثبت في أعلى الذراع وباستعمال عزم الدوران (Torque) حتى يحصل انهيار الطين تحت تأثير دوران الريشة. ويجب مراعاة أن تكون سرعة الدوران بحدود 6-12 درجة في الدقيقة.

(4) الحسابات (Calculations) :

يتم حساب مقاومة التربة للقص من المعادلة التالية:

$$T = \pi c \left(\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6} \right)$$

حيث :

T - عزم الدوران عند الانهيار.

C - قوة تماسك حبيبات التربة (Cohesion).

d - العرض الكلي للريشة (أنظر الشكل 9-6).

h - طول الريشة.

مثال : إذا كان عزم الدوران الذي لزم أثناء فحص القص بالريشة مساوياً 185 نيوتن متر. أحسب قيمة مقاومة القص (c) إذا علمت أن الريشة المستعملة في الفحص كانت ذات عرض مساو 100 ملمتر وطولها 150 ملمتراً.

الحل : باستعمال المعادلة أعلاه مع القيم

$$T = 185 \text{ Nm} = 1.85 \times 10^{-1} \text{ KN.m}$$

$$d = 100 \text{ mm} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$h = 150 \text{ mm} = 1.5 \times 10^{-1} \text{ m}$$

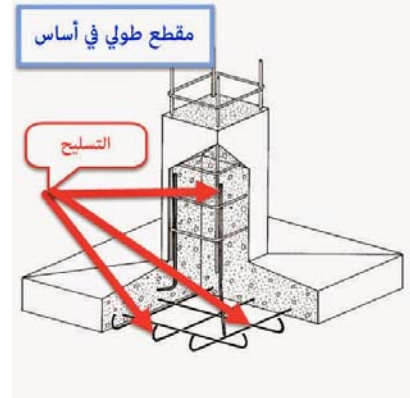
$$1.85 \times 10^{-1} = \pi c \left[\frac{(10^{-1})^2 \times 1.5 \times 10^{-1}}{2} + \frac{(10^{-1})^3}{6} \right]$$

نجد أن :

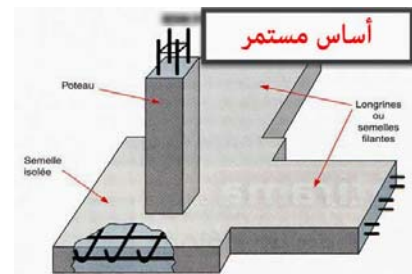
$$c = 64 \text{ KN/m}^2.$$

الاساسات Foundations

الأساسات هي الجزء السفلي للبنية الهندسية ودورها هو رفع حمولات البناء وضمان تثبيتها على الأرض، تكون الأساسات عادة داخلة في الأرض على عمق مناسب للبناء ويتم إختيار الأساس وفقا لنوع البنية وأسلوب التصميم وقدرة تحمل التربة.



تصنيف الاساسات : تصنف الاساسات حسب اهمية المنشأ و نوعية التربة و قد تكون سطحية اذا كانت طبقة التأسيس على عمق صغير و قد تكون نصف عميقة او عميقة اذا كانت طبقة التأسيس تتميز بخصائص رديئة وهنا يجب علينا التوصل الى طبقة جيدة و قد ترتبط ابعاد الاساسات بأعماقها التي تحدد صنف الاساسات .



1. الأساسات السطحية : الاساسات السطحية

قريبة من الطبقة الخارجية وتختلف باختلاف أبعادها وطبيعة العناصر المرتكزة عليها وقد نجد أساسات سطحية منعزلة (منفردة) - أساسات سطحية مستمرة - أساسات سطحية أو مساحية (الحصير) radier.

2. الأساسات النصف عميقة : عبارة عن حفر ذات مقاطع عرضية

ضيقة وعمق كبير وتُملأ هذه الحفر مباشرة بالخرسانة و تُنجز بواسطة وسائل يدوية بسيطة أو بواسطة آلات.

شروط استعمال الاساسات النصف عميقة:

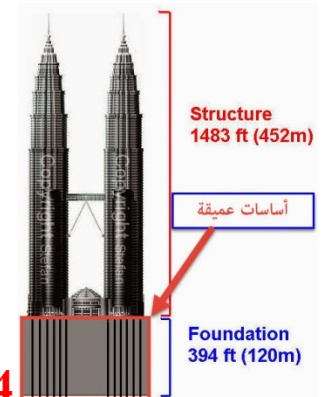
- رداءة خصائص التربة.

- تواجد طبقات اكثر مقاومة تحت هذه الطبقات السطحية الرديئة تكون قادرة

على تحمل تأثيرات القوى الخارجية.



3. الأساسات المساحية (اللبشات): هي أساسات تمتد على المساحة الكلية للمبنى .



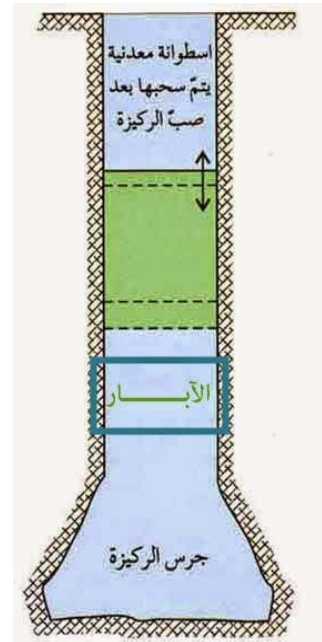
4. الأساسات العميقة : إذا كانت طبقات التربة الطبيعية

السطحية ذات خصائص رديئة فإنها لا تستطيع تحمل مختلف تأثيرات الحمولات

الخارجية على المنشآت ولذا يجب البحث عن طبقات عميقة مقاومة لإستغلالها و ذلك عن طريق الأساسات العميقة .

مختلف أنماط الأساسات العميقة: تتمثل الأساسات العميقة في نوعين:

A. الآبار : عبارة عن حفر ذات أعماق معتبرة تنجز يدويا بما يعرف بحفر الآبار حيث تصفح جوانبها الداخلية بصفائح خشبية وقد تكون معدنية وقد يكون الحفر بواسطة آلات ميكانيكية وتستعمل أنابيب داعمة لتجنب إنهيار التربة وتملاً هذه الأخيرة بالخرسانة و يتم نزع التصفيح تدريجيا مع تقدم عملية السكب.



(أ) استعمال الآبار : تستعمل الآبار:

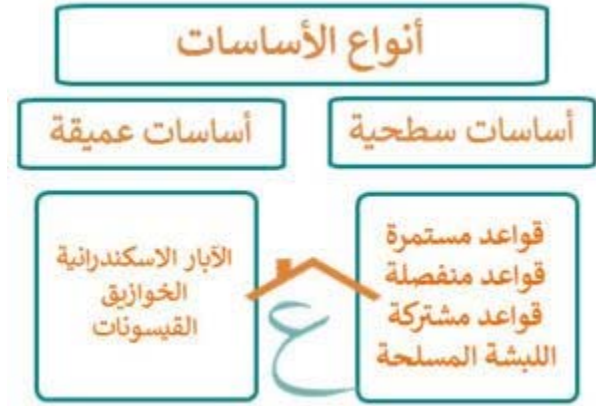
- عندما تكون الطبقة السطحية ذات مقاومة ضعيفة
- عندما تكون الحمولات جد معتبرة
- عند تكتل النعال
- توفر الريح في الوقت
- غير مكلفة مقارنة بالحصير
- أماكن استعمالها في الميدان:
- توضع في الأماكن الحساسة للمنشآت
- في الزوايا الداخلية و الخارجية للمنشأ
- في أماكن تقاطع الجدران الداخلية على الحواشي

(ب) أبعاد الآبار : تقدر أضلاع الآبار ما بين 1 و 1.50 متر كذلك بالنسبة لأقطارها ، أما العمق فلا يجب أن يتعدى 8 أمتار .

الأبعاد بين محاورها : من 4 إلى 8 أمتار وهذا حسب الحمولات .



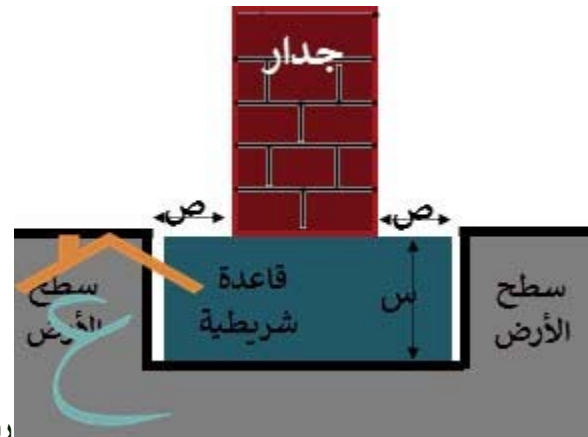
من الطبيعي أن تختلف الاساسات باختلاف نوع المبنى جراج متعدد الطوابق أم عمارة سكنية و كذلك نوعية التربة صخرية أم رملية . و من ثم قد تكون



اساسات سطحية

و هي من أنواع الأساسات التي تكون فيها التربة صالحة للبناء على عمق لا يزيد عن 10 أمتار و منها و تعتمد على القواعد الخرسانية و أنواعها

اولا : القواعد المستمرة " الشريطية " Strip Foundations



رسم يوضح القواعد الشريطية

و هي من أنواع الأساسات التي تستعمل في حالة البناء بالحوائط الحاملة ، على القواعد الخرسانية بأنواعها ... و مع المنازل الصغيرة ... و تستخدم مع سور الحدائق و الفيلات . و البعض يعملها بدون تسليح و زمان كانوا يبنونها طوب أو دبش و يسموها قصة الردم . أو حجر الرأس .

صورة رسم لجدار على قواعد مستمرة لاحظ أن ص لابد و أن تكون أقل من أو تساوي س على أقل تقدير .

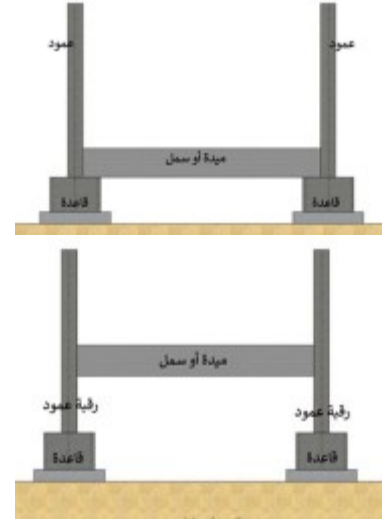
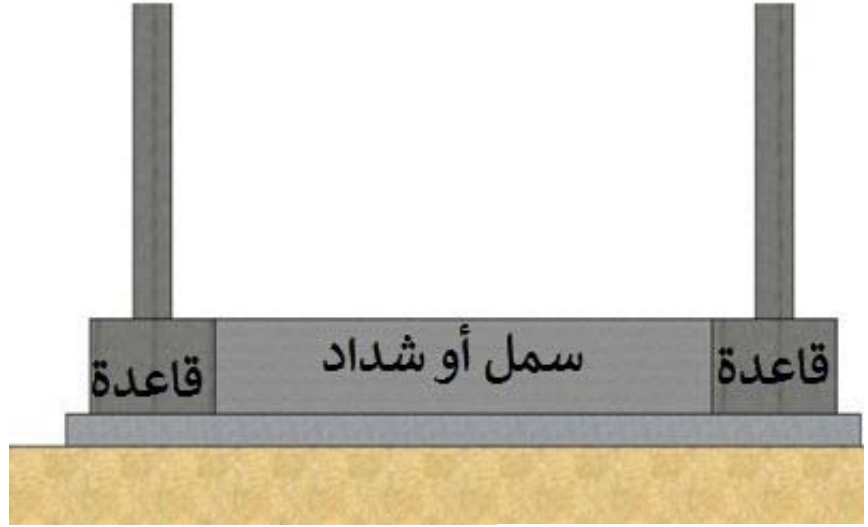
ثانياً : القواعد المنفصلة Pad Foundations



هي من أنواع الأساسات التي تكون على شكل مكعبات من الخرسانة المسلحة يكون لها دائما ثلاث ابعاد الطول و العرض و الارتفاع و تحتوى على حديد مسلح و يفضل عدم صبها على الارض مباشرة ، لهذا نقوم بصب طبقة خرسانية - بدون حديد - تحتها بسمك 10 سم و تسمى قاعدة عادية ، على أن تكون أبعاد القاعدة العادية أكبر من المسلحة و حسب رسم المهندس ، فأبعاد القاعدة و سمكها و كمية الحديد يحددها الرسم الهندسي . و يخرج من القاعدة المسلحة عدد من الاسياخ الحديدية ، تحدد مكان العمود و تربطه بالقاعدة ، تسمى هذه الاسياخ إشارات العمود .

تنفيذ الاساسات القواعد المنفصلة

و هذه القواعد المنفصلة ترتبط معا بالميدات (السمات) (الجدران الارضية) (الشناجات) .



و هذه الميدات إما أن تكون بين القواعد

أو تكون الميدات فوق القواعد مباشرة

او قد يلي القواعد اعمدة خرسانية قصيرة (تسمى رقاب عمدان)
 الصورة توضح القواعد و رقاب العمدان و الميدة فوق رقاب العمدان

تنفيذ الاساسات

ثالثاً : القواعد المشتركة

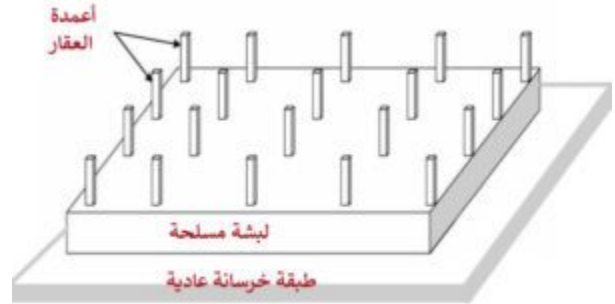


من أنواع الأساسات القاعدة مشتركة بين عمودين

هي عبارة عن قاعدتين منفصلتين و لكن يتم صبهم معاً و في صندوق واحد . تستخدم لربط قاعدة الجار مع اقرب قاعدة لها . كما تستخدم عندما يتقارب قاعدتين منفصلتين بحيث تكون المسافة بين القاعدتين المنفصلتين أقل من عرض اكبر العمودين .

تنفيذ القواعد المشتركة

رابعاً : الفرشة الخرسانية أو الحصيرة أو اللبشة Raft Foundations



رسم يوضح اللبشة

من أنواع الأساسات التي تمتد على المساحة الكلية للمبنى و تُصب ككتلة واحدة . و يخرج منها إشارات العمدان مباشرة . ببساطة كانها قواعد مشتركة للمبنى بالكامل . منها أنواع عديدة و لكن نحن نقدم نموذج من هذه الانواع ربما يكون هو النوع الأكثر شيوعاً و تنفيذاً

تنفيذ الاساسات اللبشة

خامساً : الحوائط - الجدران - الساندة



الحوائط الساندة

و هي حوائط - الجدران - خرسانية - يعبرها البعض من أنواع الأساسات - و تستخدم بشكل فعال في عمل حمامات السباحة و خزانات المياه الأرضية ، كما تستخدم أيضاً في سند جوانب التربة الهشة و منعها من الإنهيار عند إنشاء الأنفاق و عمل الكباري و مع استخدام حفارات ميكانيك .

مقدمة Introduction :

تعد تجريات التربة متطلباً رئيسياً يسبق أعمال التصميم والتحليل للمشاريع الهندسية وخاصة الكبيرة منها. وهذا المتطلب يكمن في جمع المعلومات اللازمة لدراسة المشروع المقترح، من خلال تجريات التربة والتي تشمل أخذ العينات من موقع المشروع وإجراء الاختبارات الميدانية والمعملية وتحليلها من أجل معرفة خصائصها وصفاتها الهندسية ومن ثم إعدادها في تقرير فني.

وتتراوح تكلفة تجريات التربة من % 0.5 إلى % 1.0 من التكلفة الإجمالية لتنفيذ المشروع. وترتبط نسبة التكلفة بنوع وحجم المشروع والحالات غير العادية للتربة. وهذه التكلفة لن تكون قيمة مفقودة إذا ما قورنت بالتكاليف التي قد تدفع في حالة حدوث انهيار للمشروع نتيجة عدم التحري لموقع ذلك المشروع. ويكمن الهدف من برنامج تجريات التربة إلى الحصول على المعلومات والبيانات التالية:

1. تقييم مدى ملائمة الموقع، بصفة عامة، للمشروع المقترح.
 2. عمق ونوع أساسات المشروع بما يتناسب مع خصائص التربة وحجم المشروع.
 3. مقدار تحمل التربة للأحمال المتوقعة من المشروع.
 4. مقدار الهبوط المتوقع للأساسات نتيجة أحمال المشروع.
 5. الأضرار التي قد تحدث للمنطقة المجاورة للمشروع نتيجة الحفريات وأعمال التنفيذ الأخرى، من أجل تقييمها وإيجاد الحلول المناسبة لها.
 6. منسوب المياه الجوفية ومدى تأثيرها على عناصر المشروع.
 7. عمق ونوع الطبقة الصخرية عند ملاحظتها أثناء التجريات.
 8. المشاكل البيئية التي قد تحدث للمشروع.
 9. اختيار مواد التشييد المناسبة للمشروع.
- وسوف تساهم هذه المعلومات في مدى ملائمة الموقع للمشروع المقترح واختيار التصميم المناسب وتحديد أفضل الطرق لتنفيذ ذلك المشروع.

٢,٨ برنامج استكشاف التربة Subsurface Exploration Program :

يعد برنامج استكشاف التربة لأي مشروع أحد العوامل المشتركة التي يجب الاتفاق عليها بين كل من المالك والمقاول المنفذ والاستشاري. ويمر هذا البرنامج بأربع مراحل رئيسية هي:

- (١) مرحلة جمع المعلومات المتوفرة: وتتضمن هذه المعلومات كل ما يتعلق بالمنشآت المجاورة لمنطقة المشروع مثل أبعاد العناصر الإنشائية والأحمال التي تتعرض لها ومعرفة الكود

المستخدم في المنطقة وكذلك أنواع المشاكل الهندسية التي تعرضت لها المنشآت القائمة وكيفية حل تلك المشاكل. وجميع أعمال هذه المرحلة هي أعمال مكتبية تعد متطلب أساسي للمراحل الأخرى. وقد تتطلب هذه المرحلة الحصول على معلومات مختلفة مثل:

- المخططات والرفوعات المساحية للموقع.
- خرائط جيولوجية لمعرفة طبقات ترسبات التربة وعمق الطبقات الصخرية.
- خرائط جوية لموقع المشروع والمناطق المجاورة، بحيث يمكن الرجوع إليها عند الحاجة.
- خرائط طبوغرافية للموقع تبين ميل الأرض وشكلها والمداخل والمخارج المناسبة لها.
- بيانات هيدرولوجية حول حركة المياه الأرضية وكمية مياه الأمطار.
- أنظمة البناء المستخدمة في المنطقة والاشتراطات الخاصة بالموقع، إن وجدت.
- المشاكل الهندسية في منشآت المنطقة مثل تصدع المباني وهبوط الأساسات، إن وجدت.
- المرافق المتوفرة بمنطقة المشروع مثل خدمات الكهرباء والمياه والمجاري والسيول.
- التقارير الفنية لتعريات التربة لمشاريع سابقة قريبة من مقر المشروع المقترح. وهذه التقارير تعد ذات قيمة عالية إذا تضمنت معلومات عن التربة وخواصها ونتائج الاختبارات التي أجريت عليها.

(٢) مرحلة استطلاع الموقع: وتتطلب هذه المرحلة قيام مهندس المشروع بزيارات ميدانية لموقع المشروع والمناطق المجاورة له. وخلال الزيارات يتم الاستطلاع على:

- طبوغرافية الموقع والحفريات التي تبين طبقات التربة.
- نوع المزروعات التي قد تبين حالات التربة.
- حالة المياه السطحية وتصريفها.
- مرونة مداخل ومخارج الموقع.
- مقارنة المعلومات التي تم جمعها مع ما يمكن وصفه أثناء الزيارة.

(٣) مرحلة التعريات الأولية: تبدأ هذه المرحلة بعمل عدد من الجسات وحفر الاختبار التي توزع على مساحة موقع المشروع. ويمكن تعريف الجسة على أنها ثقب رأسي يتم حفره في موقع

المشروع للحصول على عينات من التربة من أجل معرفة طبقات تربة الموقع وسمكها وخواصها المتنوعة. وحسب حجم المشروع فإنه قد يلزم عمل جسة واحدة على الأقل تصل إلى الطبقة الصخرية ويحدد من خلالها منسوب المياه الجوفية. كما أن هذه المرحلة من برنامج الاستكشاف قد تكون كافية للحصول على المعلومات اللازمة لعمل الدراسات والتصاميم المطلوبة.

٤) مرحلة التحريات التفصيلية: حيث يلزم في هذه المرحلة عمل العديد من الجسات إضافة إلى ما تم عمله في مرحلة التحريات الأولية. وتتطلب هذه المرحلة تحديد وتوزيع أماكن الجسات وأعماقها. وأخذ عينات غير مفككة وأخرى مفككة من أعماق مختلفة لعمل الاختبارات المعملية اللازمة.

٣,٨ طرق جسات التربة Soil Borings Methods

يوجد العديد من الطرق لعمل جسات التربة منها ما يتم بأدوات يدوية والأخرى بمعدات آلية، وفيما يلي عرض مختصر لأهم هذه الطرق.

١,٣,٨ جسات التربة بالأدوات التقليدية:

إن الأدوات التقليدية أو اليدوية هي من أبسط وسائل تحريات التربة، كما أنها الأقل تكلفة، وتستخدم في عمل حفرة الاختبار (test pit). وحفرة الاختبار يتم عملها بالأدوات التقليدية وبشكل مربع أو مستطيل أو دائرة بموقع المشروع وبعمق محدود كما يوضحها الشكل (1.8).

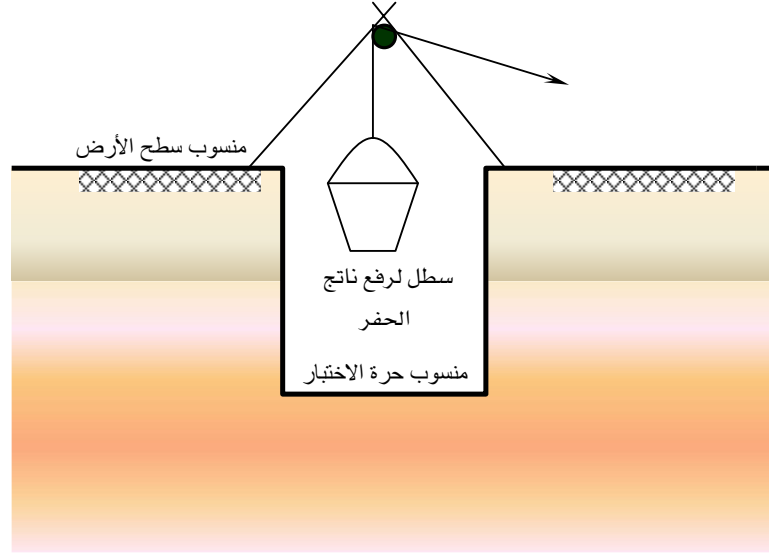
ومن حفرة الاختبار يمكن الحصول على عينة غير مفككة (غير مقلقلة) من التربة من قاع الحفرة أو من جوانبها، كما أنها طريقة دقيقة لتحديد منسوب المياه الجوفية حين ظهورها أثناء أعمال الحفر، إلا أن عمق الحفرة يعتمد على طبيعة التربة وثبات مقاطع الحفر الجانبية.

ومن الأجهزة اليدوية لعمل الجسات: المثاقيب اليدوية (hand augers) والتي تستخدم في حالة التربة الناعمة مثل الطين، وفي أعمال الطرق والمنشآت الصغيرة أو في الأماكن الضيقة التي يصعب عمل الجسات العميقة بها. وتحتاج هذه المثاقيب قوة دورانية من الشخص بحيث يمكن أن يصل عمقها بين ثلاثة و خمسة أمتار. وتعطي هذه المثاقيب عينات مفككة من التربة تستخدم في بعض التجارب المعملية مثل التحليل المنخلي وحدود أتريج. والشكل (2.8) يوضح نوعين من المثاقيب اليدوية.

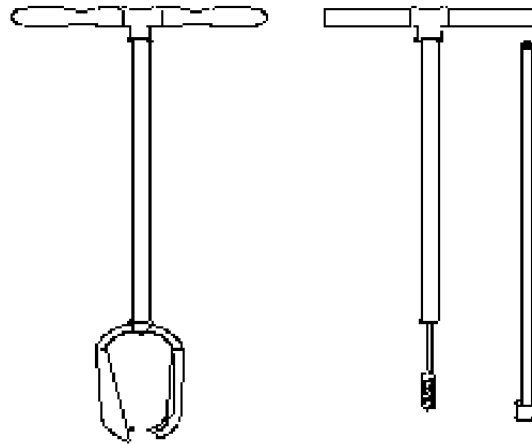
٢,٣,٨ جسات التربة بالمعدات الآلية:

تحتاج معظم المشاريع الهندسية إلى عمل تحريات للتربة بواسطة جسات تمتد لأعماق كبيرة، ويتطلب

ذلك استخدام المعدات الآلية والتي منها:



شكل (1.8): إحدى الطرق التقليدية لعمل حفر الاختبار

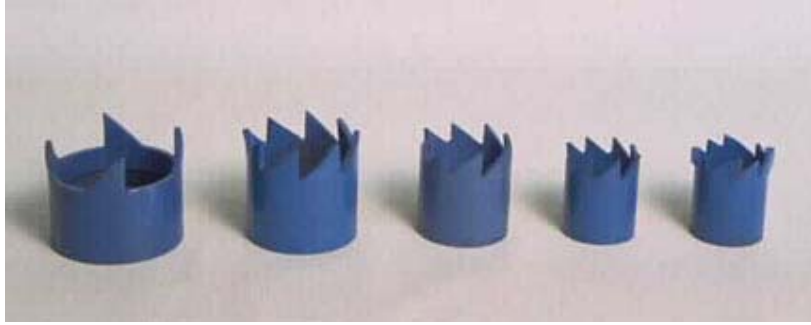


شكل (2.8): نوعان من المثاقيب اليدوية المستخدمة في الحفر

١. الحفر الدوراني Rotary Drilling :

يتم في هذه الطريقة الحفر بالدوران وبسرعة عالية وقوة ضغط على الحفرة المعنية يؤدي إلى تفتيت وطحن التربة ومن ثم إزالة ناتج الحفر. ويصاحب عملية الحفر ضخ الماء مع الطين (يمكن استخدام البنتونيت) على الحفرة من خلال مواسير مخرمة لتقليل احتكاك عمود الدوران وبالتالي زيادة سرعة الحفر.

يمكن تطبيق هذه الطريقة على جميع أنواع التربة، عدا الزلط الكبير الحجم، وذلك بتركيب لقمة الحفار (bit) المناسب في رأس عمود الدوران تتناسب مع صلابة طبقة التربة أو الصخر، والشكل (3.8) يوضح بعضاً من لقم الحفر بأحجام مختلفة وأشكال متنوعة.

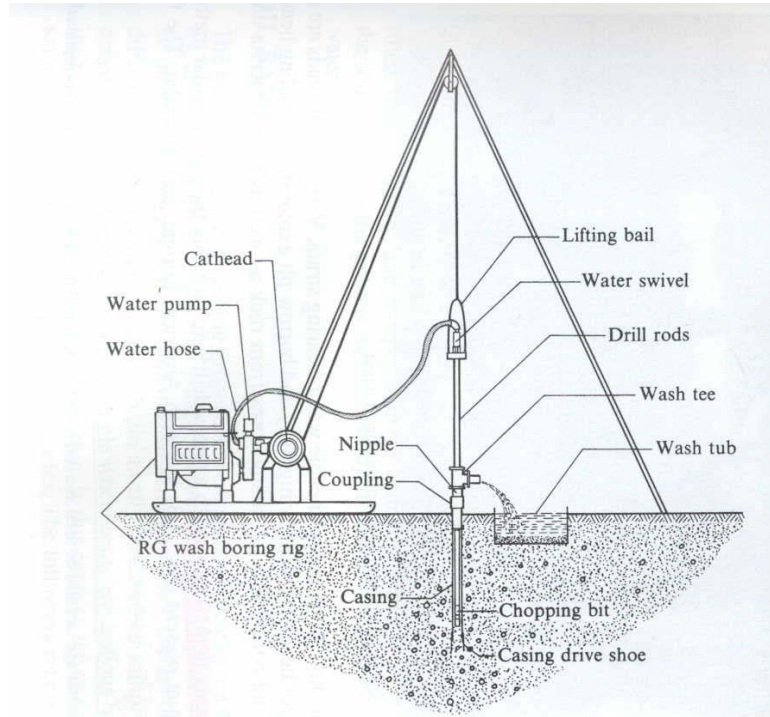


شكل (3.8): لقم الحفر بأشكال مختلفة

وباستخدام هذه الطريقة يمكن استخراج عينات غير مقلقة ومن أعماق مختلفة من الجسة بعد تركيب أسطوانة أخذ العينات sampler في عمود الدوران.

٢. الحفر بالغسيل Wash Boring :

تعد هذه الطريقة الأكثر شيوعاً في العديد من بلدان العالم. وتبدأ عملية التنقيب بهذه الطريقة بدق ماسورة تغليف (casing) بداخل التربة بعمق يتراوح بين 2.0 و 3.5 m، وتأتي هذه الخطوة لتثبيت الحفرة ومنع جدرانها من الانهيار. ثم يزال ما بداخل الماسورة من تربة بواسطة ضغط الماء الذي يصل إليها من خلال ثقوب بلقمة القطع التي في أسفل ذراع الحفر. ويندفع فتات التربة مع الماء من المسافة التي بين ذراع الحفر وماسورة التغليف ليتم تجميعها في حوض بحيث تترسب التربة فيه ويمكن فحصها والتعرف على طبقاتها. والشكل (4.8) يوضح طريقة عمل الجسة بواسطة الغسيل.



شكل (4.8): عمل الجسة بواسطة الغسيل

(Bowles, J. E. - 1997)

إن طريقة التنقيب بالغسيل تتناسب مع التربة غير المتماسكة مثل التربة الزلطية والرملية. ولا تعطي هذه الطريقة إلا عينات مقلقلة، كما لا يمكن من خلالها تحديد منسوب المياه الجوفية.

٣. الحفر بالطرق Percussion Drilling :

يقتصر استخدام هذه الطريقة على الأماكن ذات التربة الصلبة والصخور. ويتم الحفر وتفتيت التربة عن طريق الدق المتكرر بأسفل الحفرة بواسطة لقمة التنقيب. ويمرر الماء على التربة المتفتتة حتى يتم التخلص منها خارج الحفرة بشكل دفعات. ويتم التعرف على مكونات التربة عن طريق ناتج الحفر، أما تغير الطبقات فيعرف عن طريق تغير معدل صعوبة الحفر. والشكل (5.8) يبين صورة لإحدى الحفارات المستخدمة في تجريات التربة بأحد المواقع.

٤. الحفر باستخدام الحفار المتصل Continuous-Flight Auger:

تعد هذه الطريقة من أسهل وأسرع الطرق لاستخراج العينات وذلك لجميع أنواع التربة. والحفار المستخدم يدفع بالتربة من أسفل الحفرة إلى السطح. واختلاف سرعة الحفار تبين التغير في طبقات التربة.



شكل (5.8) صورة لإحدى الحفارات المستخدمة في تجريات التربة

٤,٨ عينات التربة Soil Sampling:

إن من أهم أعمال تجريات التربة الحصول على عينات من أجل وصف طبقات التربة والتعرف على خواصها. بل إن تصميم أساسات المنشآت يعتمد على نتائج اختبار تلك العينات مثل قوة تحمل التربة ونفاذيتها ومقدار هبوطها. ويمكن تصنيف عينات التربة إلى صنفين هما: عينة مقلقلة (مفككة) disturbed sample وعينة غير مقلقلة (متماسكة) undisturbed sample.

١,٤,٨ عينة مقلقلة (مفككة) disturbed sample:

وهي عينة التربة التي تكون بنيتها متفككة وخواصها الميكانيكية قد تغيرت أثناء استخراجها. ويتم الحصول على عينات التربة المقلقلة يدوياً أو بأدوات الحفر التقليدية أو مثاقيب الحفر الآلية. ومن موقع المشروع المعني يتم جمع العينات المقلقلة من جسات مختلفة ومن أعماق متفاوتة، على أن توضع في أكياس بلاستيكية لحفظ محتواها المائي ومنعها من التلوث عند نقلها إلى معمل التربة بحيث يكتب على كل كيس اسم الموقع ورقم العينة ورقم الجسة وعمق مكان العينة وتاريخ استخراجها. يعتمد حجم عينة التربة المقلقلة على عدد وأنواع الاختبارات العملية التي تجرى عليها. فالتربة التي تجرى عليها اختبارات التدرج الحبيبي والوزن النوعي وحدود أتريج والدمك، تحتاج إلى عينة لا يقل وزنها عن خمسة كيلوجرامات.

٢,٤,٨ عينة غير مقلقلة (متماسكة) undisturbed sample:

وهذه العينة تحتفظ بنيتها وخواصها الأصلية، ويمكن الحصول عليها من حفر الاختبار بطريقة يدوية إذا كان هناك عناية فائقة لاستخراجها. ويوجد بعض الاختبارات العملية التي تتطلب وجود عينة متماسكة وغير مقلقلة مثل اختبارات القص والنفاذية و الهبوط وغيرها. ويحتاج هذا النوع من العينات إلى حرص يتمثل في الآتي:

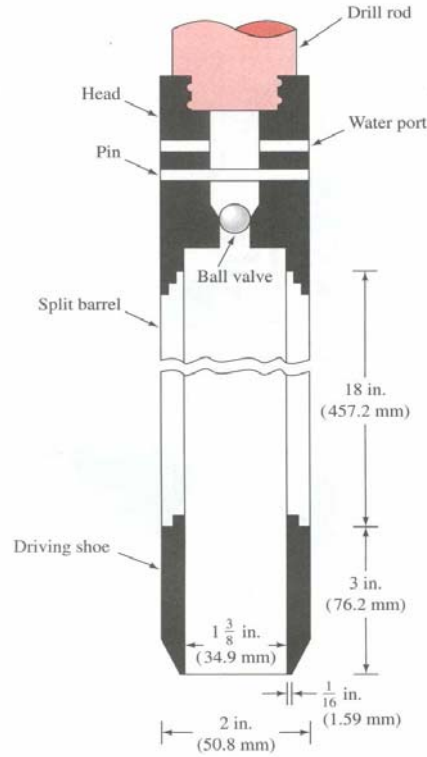
- تغليف العينة بالشمع المنصهر أو البلاستيك المناسب لحمايتها من الضرر ومنع فقدان محتواها المائي.
- كتابة بيانات كل عينة مثل اسم الموقع ورقمها ورقم الجسة وعمق العينة.
- ترتيب العينات في صندوق مخصص يحفظها من حرارة الشمس والاهتزازات.

- نقل العينة بسرعة وعناية إلى مقر معمل التربة.

من المعلوم أنه لا يمكن الحصول على عينات تربة غير مقلقلة تماماً، ولكن يمكن الحصول على عينات لها حد أدنى من القلقله وذلك باستخدام أنابيب مخصصة لها مواصفات معينة تستخدم مع مكائن الحفر. ومن أبرز طرق استخراج العينات غير المقلقلة ما يلي:

طريقة الملعقة المشطورة Split-Spoon Method:

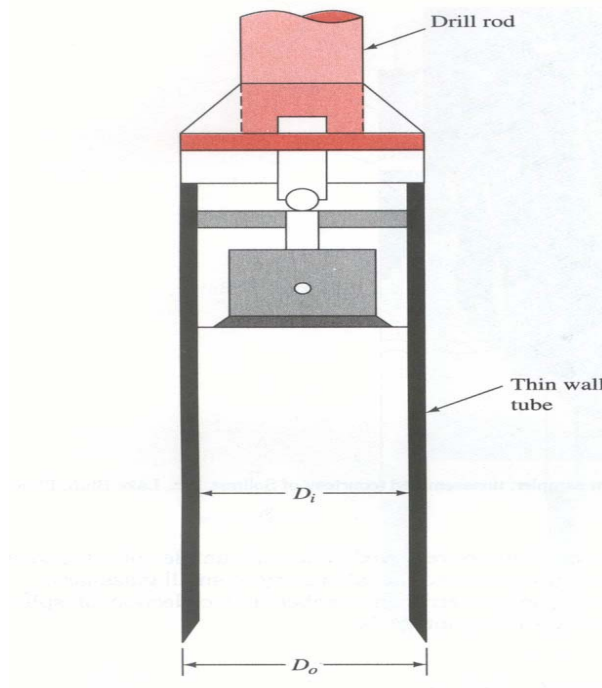
تعد هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً في استخراج العينات غير المقلقلة. والشكل (6.8) يبين جهاز الملعقة المشطورة وهي عبارة عن أنبوب أسطواني. وعند العمق المطلوب من الجسة يتم تثبيت هذه الأداة بعمود الدوران في أسفل الحفرة بعد إزالة لقمة التتقيب، ويفضل أن يكون كل 1.5 m. بعد ذلك يتم غرز الملعقة المشطورة في قاع الحفرة بواسطة الدق بمطرقة قياسية وزنها 623 N وارتفاع سقوطها 0.762 m على عمود الحفر، حيث يتم حساب عدد الضربات اللازمة لგრز الملعقة المشطورة مسافة 45 cm موزعة على ثلاثة مراحل بواقع 15 cm في كل مرة على أن تؤخذ آخر مسافتين. وهذه العملية من أبرز الاختبار الحقلية وتعرف باختبار الاختراق القياسي (SPT) standard penetration test. وبعد انتهاء عملية الدق على عمود الحفر يتم رفع الملعقة إلى سطح الأرض لاستخراج العينة وترحيلها إلى معمل التربة.



شكل (6.8): جهاز الملعقة المشطورة
(Das, B. M. - 1993)

طريقة أنابيب شلبي Shelby Tubes Method:

تعرف هذه الطريقة أيضاً بالأنبوبة رفيعة الجدران Thin Wall Tube، حيث يبلغ طول الأنبوبة حوالي 60 cm وقطريها الداخلي والخارجي 50.8 mm و 76.2 mm على التوالي، كما يوضحها الشكل (7.8). ويتم تثبيت هذه الأنبوبة في أسفل عمود الحفر وعند العمق المطلوب أخذ العينة غير المقلقلة منه، بحيث تغرز في التربة باستخدام الضغط الهيدروليكي، ثم تفك الأنبوبة وبها العينة من أسفل عمود الحفر ليتم ترحيلها إلى معمل التربة. وتعد هذه الطريقة أكثر فعالية لأنواع التربة الناعمة والحساسة مثل الطين والطيني.



شكل (7.8): أنبوبة شلبي
(Das, B. M. - 1993)

آخذ العينات الكابس Piston Sampler:

الشكل (8.8) يبين آخذ العينات الكابس، والذي يشتمل على أنبوية رفيعة وبها الكابس المرتبط بعمود الحفر الذي يمتد إلى مكينة الحفر على سطح الأرض. ويوضع آخذ العينات في أسفل جسة الاختبار ليتم دفع الأنبوية بواسطة المكبس هيدروليكيًا إلى التربة لاستخراج العينة. وتعد هذه الطريقة من أكثر الطرق نجاحاً لاستخراج عينات التربة الغير مقلقلة.

٥,٨ درجة قلقلة العينة Degree of Sample Disturbance:

مهما يكن هناك من عناية في استخراج عينة التربة غير المقلقلة فإنه لا يمكن أن تكون متماسكة بوضعها الذي كانت عليه في باطن الأرض. وتعتمد درجة قلقلة عينة التربة على عوامل من أهمها الطريقة المستخدمة في استخراج العينة. ويمكن التعبير عن درجة القلقلة بنسبة المساحة كما توضحها العلاقة: