

## تقنية مدنية

### خواص واختبارات التربة

٢٠٤ مدن



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التتموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " خواص واختبارات التربة " لمتدربي قسم " تقنية مدنية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الحمد لله وكفى، والصلاة والسلام على النبي المصطفى، وعلى آله وصحبه ومن سار على نهجهم واقتفى، ثم أما بعد:

فحينما نتحقق المنجزات وسط الكثير من التحديات، فإنها تحمل في طياتها دلالات عميقة ومؤشرات جديرة بالدراسة والتأمل. ولعل هذا يتجلى واضحاً في الخطوات الحديثة التي خطتها المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني والمتماشية مع الثورة المعلوماتية والتقنيات الحديثة التي يشهدها العالم في شتى المجالات، حينما بدأت بتغيير وتطوير الخطط الدراسية على مستوى جميع وحداتها من مراكز تدريب ومعاهد فنية وكليات تقنية تمشياً مع احتياجات سوق العمل وتحقيقاً لبرنامج السعودية الذي تسعى حكومة المملكة العربية السعودية إلى تحقيقه.

ويأتي تأليف هذا المقرر "خواص واختبارات التربة" ضمن سلسلة من المقررات التي تتطلبها الخطة الدراسية لتخصص التقنية المدنية الذي يتبع قسم التقنية المدنية والمعمارية بالكليات التقنية، حيث يعد هذا المقرر من المتطلبات الجديدة التي تميزت بها هذه الخطة.

وتعد خواص واختبارات التربة من المواد الأساسية التي يحتاجها المهتمون بمشاريع التشييد المختلفة والمرتبطة بأعمال التربة، حيث تم التركيز في هذا المقرر على أساسيات التربة وأبرز الاختبارات العملية التي تساهم في تأهيل الدارس إلى وظيفة مساعد مهندس مدني بعد تخرجه.

يحتوي هذا المقرر على ثمانية فصول، بالإضافة إلى الجزء العملي المرتبط بالاختبارات العملية. حيث يعرض الفصل الأول مقدمة مختصرة تشمل التعريف بالتربة وكيفية نشأتها وتركيباتها والمشاكل المصاحبة لها. أما الفصل الثاني فيقدم الخواص الأساسية للتربة واستنتاج العلاقات الرياضية المرتبطة بأحجام وأوزان التربة، كما يبين وصف حالة التربة بحسب قوامها ومحتواها المائي.

ويشمل الفصل الثالث على طرق تصنيف التربة باستخدام طريقة التصنيف القياسي الموحد ونظام آشتو، وتمثيل التدرج الحبيبي للتربة واستنتاج النسب المكونة لها من الركام والرمل والطمي والطين. ويتناول الفصل الرابع أبرز الطرق الهندسية لإجراء اختبارات دمك التربة في كل من المعمل والموقع، ومقارنة درجة الدمك التي يتم الحصول عليها بالمواصفات المرتبطة بمشاريع التشييد.

ويقدم الفصل الخامس دراسة نفاذية التربة للمياه وطرق تحديدها معملياً وميدانياً، ومعرفة العوامل المؤثرة عليها. أما الفصل السادس فيبين الضغوط الرأسية التي تولدها التربة نتيجة أوزانها والأحمال الحية التي تتعرض لها، وكيفية حساب هذه الضغوط عند عمق معين من التربة.

ويوضح الفصل السابع الضغوط الجانبية للتربة والتي تؤثر على الحوائط والجدران الساندة، وكيفية تحليلها وإيجاد نقط تأثيرها. أما الفصل الثامن فيحتوي على المراحل الرئيسية والمتبعة في برنامج تحريات التربة بما يتناسب مع نوع وسمك طبقاتها ونوع وحجم المشروع، وتحديد عينات التربة المطلوبة والطرق والأدوات المستخدمة في استخراجها، وكتابة التقرير الفني عن التربة بالطريقة الهندسية المتبعة.

ويتضمن هذا المقرر الكثير من الأمثلة والمسائل والصور والأشكال والجداول التوضيحية والتجارب العملية، والتي تساعد على فهم الأسس العلمية لمحتوياته. وقد أخذ إخراج هذا المقرر الكثير من الجهد والوقت حتى يظهر بالمستوى المطلوب وحتى يحتوي على مادة علمية تتناسب مع مستويات طلاب الكليات التقنية، راجياً من الله أن يجعل فيه النفع والفائدة.

والله ولي التوفيق، ، ،



المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## خواص واختبارات التربة

مقدمة في ميكانيكا التربة

مقدمة في ميكانيكا التربة

**الجدارة:** الإلمام بتعريف التربة ونشأتها وتركيباتها والمشاكل المصاحبة لها.

#### **الأهداف:**

بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على معرفة:

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

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

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** ثلاث ساعات

## مقدمة

تعد التربة (Soil) من أكثر 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 الأسمنت والحديد والزجاج وغيرها، فهي مادة تملك خواص طبيعية متنوعة تحتاج إلى دراسات معملية 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 مالك المشروع عادة ما يتبادر إلى ذهنه عدة تساؤلات منها:

- هل تربة الموقع مناسبة لإقامة هذا المشروع؟
- هل التربة لديها القدرة على تحمل الإجهادات الناتجة عن المشروع؟
- هل من الممكن أن تتعرض التربة إلى مشاكل هندسية في المستقبل؟
- 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 معملية لتربة الموقع قد تختلف عن تلك التي يحتاجها المشروع الآخر.

## 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: والد التربة) كارل ترزاجي 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 فتات الصخور بسبب عوامل التعرية وكذلك المواد العضوية الناتجة عن تحلل وتآكل النباتات والحيوانات، بالإضافة إلى ما تحتويه من هواء ومحاليل معدنية وعضوية. فهي بذلك تعد خليطاً غير متجانس يحتوي على حالات المادة الثلاث: الصلبة والسائلة والغازية.

## ٣,١ تشكل التربة Soil Formation

تتشكل التربة نتيجة تفتت الصخور إما بسبب العوامل 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 (مطار، رياح، حرارة، رطوبة، جليد) وأدى ذلك إلى تكون حبيبات متفككة وظلت تتراكم بنفس موقعها الأصلي الذي تشكلت فيه. ويعتمد تواجد وانتشار هذا النوع من التربة على درجة تأثير العوامل الجوية وعلى نوع الصخر 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: 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.

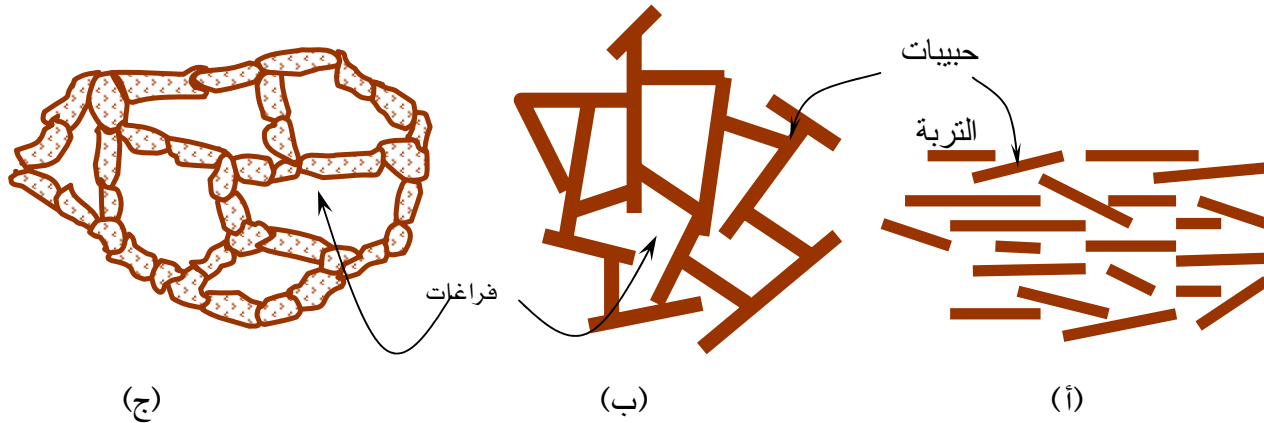
#### ٤,١ تركيب التربة Soil Structure

إن القصد من بتركيبة التربة هو ما يتعلق بترتيب حبيباتها مع بعضها البعض. ويمكن تصنيف التربة حسب تركيبية 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 فيها ويوجد قوى تماسك بين حبيباتها، ومن أمثلتها: الطمي Silt والطين Clay، ويأخذ تركيب هذا الصنف من التربة التوزيع الموضح في شكل (1.1) وهي:

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

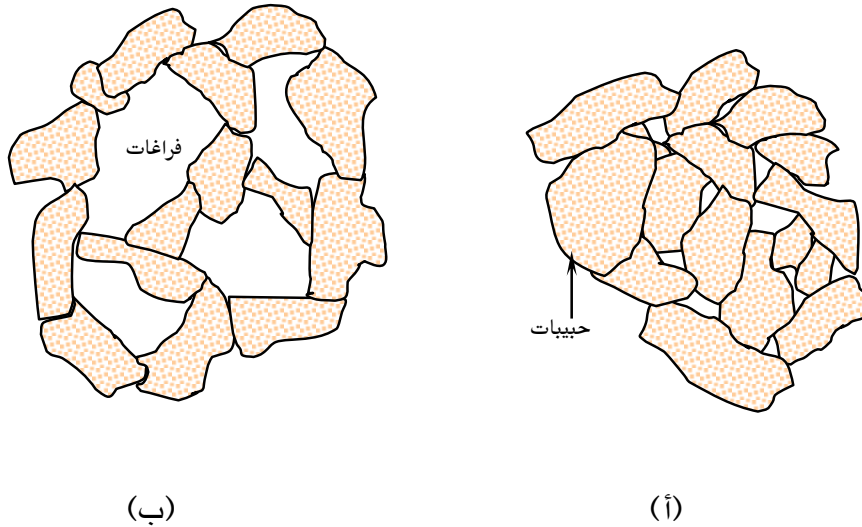


شكل (1.1): تركيبية حبيبات التربة الناعمة: (أ) تشتمت، (ب) أشعث، (ج) خلوي

- 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 (2.1).



شكل رقم (2.1): تركيبية حبيبات التربة الخشنة: (أ) كثيف، (ب) سائب

## ٥,١ 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 (3.1) بعضاً منها، ولكن يمكن إبرازها في تقسيماتها الرئيسة التالية:

١. مشاكل ثبات التربة Soil Stability Problems مثل انجراف التربة ذات الميول 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 التشكلات 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.

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

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

ويأتي حل المشاكل المصاحبة لأعمال التربة نتيجة عمل دراسة للتربة 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)



(ج)

شكل (3.1) بعض المشاكل المصاحبة لأعمال التربة: (أ)، انجراف التربة تسبب في حدوث فجوة أرضية  
(ب) انزلاق أرضي تسبب في أضرار حي سكني، (ج) هبوط التربة أدى إلى انهيار جسر في طريق رئيسي



## خواص واختبارات التربة

### الخواص الأساسية للتربة

الخواص الأساسية للتربة

٢

### الجدارة:

الإلمام بالخواص الأساسية للتربة والعلاقات التي تربط بينها وكيفية استنتاجها، حيث أن معرفة هذه الخواص سوف تساعد الطالب على فهم المواضيع اللاحقة في هذا المقرر.

**الأهداف:** بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على:

- معرفة وفهم خواص التربة الأساسية.
- استنتاج العلاقات الرياضية المرتبطة بأحجام وأوزان التربة.
- وصف حالة التربة بحسب قوامها ومحتواها المائي.
- إجراء الاختبارات المعملية لحدود أتريج.
- الرفع بتقرير فني لمهندس المشروع عن خواص التربة.

**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ١٠٠٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** سبع ساعات

**العوامل المساعدة:** تنفيذ التجارب التالية في المعمل:

- تجربة المحتوى المائي
- تجربة حد السيولة
- تجربة حد اللدونة

## ١,٢ مقدمة Introduction:

يحتوي هذا الباب على خواص التربة الرئيسية التي يلزم الإلمام بها ومعرفة المعاني الفيزيائية لها والمصطلحات المرتبطة بها، خاصة وأن الكثير من هذه المصطلحات سوف يتم التطرق لها خلال هذا المنهج.

إن طبيعة التربة تختلف عن غيرها من المواد، فهي مادة تتكون من ثلاث حالات، وهي الحالة الصلبة Solid المتمثلة في حبيباتها الصلبة، والحالة السائلة Liquid وتتمثل غالباً في الماء الموجود بين الحبيبات أو ما يسمى بالفراغات، والحالة الغازية Gas متمثلة بالهواء أو أي غازات أخرى موجودة في الفراغات التي لا يوجد بها ماء. والشكل (A- 1.2) يوضح عينة للتربة الطبيعية بحالاتها الثلاث.

## ٢-٢ علاقات أحجام وأوزان التربة Soil Volumes and Weights Relationship

تعد العلاقة بين أحجام وأوزان التربة من الأمور التي ساهمت في استنتاج الكثير من خواص التربة ومعرفة التغيرات التي قد تحدث لها. ولغرض التعريف بهذه الخواص، فمن المناسب تمثيلها على شكل بلك يبين كلاً من التمثيل الحجمي في الجهة اليسرى والتمثيل الوزني في الجهة اليمنى والمصطلحات المستخدمة في العلاقة بينهما كما يوضحها الشكل (B- 1.2). وفيما يلي تعريف بالرموز المستخدمة في علاقات أحجام وأوزان التربة.

$$V_T = \text{الحجم الكلي total volume}$$

$$W_T = \text{الوزن الكلي total weight}$$

$$V_s = \text{حجم المواد الصلبة volume of solids}$$

$$W_s = \text{وزن المواد الصلبة weight of solids}$$

$$V_v = \text{حجم الفراغات volume of voids}$$

$$W_w = \text{وزن الماء weight of water}$$

$$V_w = \text{حجم الماء في الفراغات volume of water}$$

$$W_a = \text{وزن الهواء air weight of}$$

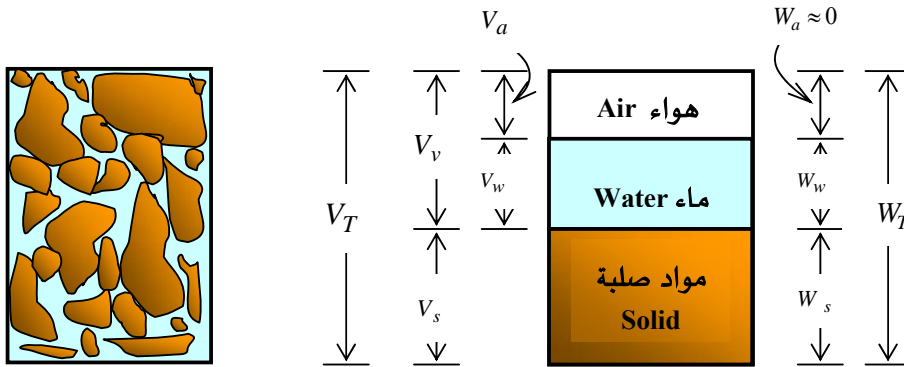
$$V_a = \text{حجم الهواء في الفراغات volume of air}$$

ويمكن حساب الوزن الكلي لعينة التربة من المعادلة:

$$W_T = W_s + W_w \quad (1.2)$$

حيث من المفترض أن الهواء عديم الوزن. أما الحجم الكلي للعينه فيمكن إيجاداه من العلاقة:

$$\begin{aligned} V_T &= V_s + V_v \\ &= V_s + V_w + V_a \end{aligned} \quad (2.2)$$



(A)

(B)

الشكل (1.2): التمثيل الوزني والتمثيل الحجمي للتربة

عينه من تربة طبيعية، (B) فصل حالات التربة

المحتوى المائي ( $w$ ) water content

وهو النسبة بين وزن الماء داخل الفراغات إلى وزن المواد الصلبة لعيينة التربة.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.2)$$

وحدة الوزن ( $\gamma$ ) unit weight

وهي نسبة الوزن الكلي لعيينة التربة إلى حجمها الإجمالي وهي في حالتها الطبيعية.

$$\gamma = \frac{W_T}{V_T} \quad (4.2)$$



مع ملاحظة أن قياس وحدة الوزن  $\gamma$  بالنظام المتري هو  $(kN/m^3)$ ، لأن قوة الجاذبية تقاس بالنيوتن (N) حيث:

$$1 N = 1 kg \times 1 m / s^2$$

### وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ ) dry unit weight

وهي نسبة وزن حبيبات التربة الصلبة إلى الحجم الكلي لعينة التربة.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad (5.2)$$

### الوزن النوعي ( $G_s$ ) specific gravity

ويعرف الوزن النوعي لحبيبات التربة بأنه النسبة بين وحدة وزن الحبيبات الصلبة للتربة إلى وحدة وزن الماء المقطر عند 4 درجات مئوية.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad (6.2)$$

حيث:  $\gamma_s$  = وحدة وزن الحبيبات الصلبة للتربة ( $kN/m^3$ )

$\gamma_w$  = وحدة وزن الماء وتقدر بالقيمة  $9.81 kN/m^3$  أو  $1 gm/cm^3$

وغالبا ما تكون قيم الوزن النوعي للتربة غير متفاوتة وقد لا تحتاج إلى عمل اختبارات معملية، ولهذا فلن يتم إدراج هذا الاختبار في الجزء العملي من هذا المنهج، ويمكن استنتاجها حسب نوع التربة كما هو موضح في الجدول (١.٢).

### نسبة الفراغات ( $e$ ) void ratio

وهي النسبة بين حجم الفراغات إلى حجم الأجزاء الصلبة لعينة التربة.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad 0 < e << \infty \quad (7.2)$$

وتتراوح قيم نسب الفراغات للتربة الرملية من 0.5 إلى 0.8، بينما تتراوح هذه القيم من 0.7 إلى 1.1 للتربة المتماسكة مثل الطين.

### المسامية (n) porosity

وهي النسبة بين حجم الفراغات إلى الحجم الكلي لعينة التربة.

$$n = \frac{V_v}{V_T} \quad 0 \leq n \leq 1 \quad (8.2)$$

### درجة التشبع (S) degree of saturation

وهي النسبة بين حجم الماء إلى حجم فراغات التربة، وتوضح في الغالب بنسبة مئوية.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad 0 \leq S(\%) \leq 100 \quad (9.2)$$

جدول (1.2): قيم الوزن النوعي لأصناف التربة

نوع التربة	$G_s$
ركام Gravel	2.65-2.68
رمل Sand	2.65-2.68
طمي (غير عضوية) Silt (inorganic)	2.62-2.68
طين (عضوية) Clay (organic)	2.58-2.65
طين (غير عضوية) Clay (inorganic)	2.68-2.75

فعندما تكون التربة جافة ولا تحتوي فراغاتها على أي نسبة من الماء فإن  $S = 0\%$ ، أما إذا كانت جميع فراغاتها ممتلئة بالماء فتصل إلى كامل درجة التشبع  $S = 100\%$ ، بينما تكون التربة مشبعة جزئياً إذا احتوت فراغاتها على ماء وهواء.

### الكثافة النسبية (D<sub>r</sub>) relative density

تستخدم الكثافة النسبية لوصف حالة التربة المفككة أو غير المتماسكة cohesionless soil مثل الرمل ومدى صلاحيتها للاستخدام، والحكم على ذلك من خلال نسبة الفراغات الطبيعية لتربة الموقع ومقارنتها بنسبة الفراغات القصوى والدنيا والتي يتم تحديدهما في المعمل. وتوضح الكثافة النسبية بالعلاقة التالية:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad (10.2)$$

حيث:

$e$  = نسبة الفراغات الطبيعية للتربة

$e_{\max}$  = نسبة الفراغات للتربة في حالتها الكثيفة تماماً

$e_{\min}$  = نسبة الفراغات للتربة في حالتها السائبة تماماً

والجدول (2.2) يبين حالة التربة من حيث كثافة حبيباتها ومقارنتها بكثافتها النسبية والتي تتراوح من 0 إلى 100 % .

جدول (2.2): الكثافة النسبية مع حالة التربة

$D_r$ (%)	وصف التربة
0-15	مخلخلة جداً Very loose
15-35	مخلخلة Loose
35-65	متوسطة الكثافة Medium dense
65-85	كثيفة Dense
85-100	كثيفة جداً Very dense

### العلاقات الرئيسية لخواص التربة:

من خلال التعرف على الخواص السابقة للتربة، فإنه يمكن استنتاج بعض العلاقات الرئيسية ومنها:

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (11.2)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}} \quad (12.2)$$

$$Se = wG_s \quad (13.2)$$

$$\gamma = \frac{(G_s + w)}{1+e} \gamma_w \quad (14.2)$$

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w \quad (15.2)$$

### أمثلة محلولة:

مثال (١.2):

عينة من التربة حجمها  $65 \text{ cm}^3$  وتزن  $120 \text{ gm}$  في حالتها الرطبة و  $105 \text{ gm}$  في حالتها الجافة ووزنها النوعي  $2.65$ ، فاحسب ما يلي:

١. المحتوى المائي ( $w$ )

٢. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ )

٣. المسامية ( $n$ )

٤. نسبة الفراغات ( $e$ )

٥. درجة التشبع ( $S$ )

الحل:

معطى:

$$V_T = 65 \text{ cm}^3$$

$$W_T = 120 \text{ gm}$$

$$W_s = 105 \text{ gm}$$

$$G_s = 2.65$$

١. المحتوى المائي ( $w$ ):

عندما يتم تسخين العينة في الفرن، فإن النقص في وزن العينة يمثل وزن الماء الذي كان موجود بها وتبخر نتيجة الحرارة، وبالتالي فإن:

$$W_w = W_T - W_s = 120 - 105 = 15 \text{ gm}$$

وبذلك يكون المحتوى المائي:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{15}{105} \times 100 = 14.29 \%$$

٢. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ ):

$$\begin{aligned} \gamma_d &= \frac{W_s}{V_T} = \frac{105}{65} = 1.62 \text{ gm/cm}^3 \\ &= 1.62 \times 9.81 = 15.85 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

٣. المسامية ( $n$ )

بتطبيق المعادلة (6.2) وإعادة ترتيبها يتم الحصول على حجم المواد الصلبة  $V_s$ .

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \\ V_s &= \frac{W_s}{G_s \gamma_w} = \frac{105}{2.65 \times 1} = 39.62 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

وحيث أن الحجم الكلي لعينة التربة  $V_T = 65 \text{ cm}^3$  فإن حجم الفراغات بالعينة يمكن استنتاجه من

المعادلة (2.2).

$$\begin{aligned} V_v &= V_T - V_s \\ &= 65.00 - 39.62 = 25.38 \text{ cm}^3 \\ n &= \frac{V_v}{V_T} = \frac{25.38}{65.00} = 0.39 \end{aligned}$$

٤. نسبة الفراغات ( $e$ ):

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{25.38}{39.62} = 0.64$$

٥. درجة التشبع ( $S$ ):

يتم حساب حجم الماء في العينة من المعادلة (6.2)، إلا أنه يجب ملاحظة أنه عند استخدام وحدتي الجرام (gm) والسنتيمتر (cm) فإن  $V_w = W_w$  والوزن النوعي للماء  $G_w = 1$ ، وعليه فإن:

$$V_w = \frac{W_w}{G_w \gamma_w} = \frac{15}{1 \times 1} = 15 \text{ cm}^3$$
$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{15.00}{25.38} \times 100 = 59.10 \%$$

مثال (2.2):

عينة من التربة وزنها 1.75 kN وحجمها 0.10 m<sup>3</sup> والمحتوى المائي لها 12.40% ووزنها النوعي 2.71، والمطلوب إيجاد ما يلي:

١. وحدة الوزن ( $\gamma$ )

٢. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ )

٣. نسبة الفراغات ( $e$ )

٤. المسامية ( $n$ )

٥. درجة التشبع ( $S$ )

الحل:

١. وحدة الوزن ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{W_T}{V_T} = \frac{1.75}{0.10} = 17.50 \text{ kN / m}^3$$

٢. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ ):

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}} = \frac{17.50}{1 + \frac{12.40}{100}} = 15.57 \text{ kN/m}^3$$

٣. نسبة الفراغات ( $e$ ):

$$\begin{aligned}\gamma_d &= \frac{G_s}{1+e} \gamma_w \\ 15.57 &= \frac{2.71}{1+e} \times 9.81 \\ e &= \frac{2.71 \times 9.81}{15.57} - 1 = 0.71\end{aligned}$$

٤. المسامية ( $n$ ):

$$\begin{aligned}n &= \frac{e}{1+e} \\ n &= \frac{0.71}{1+0.71} = 0.42\end{aligned}$$

٥. درجة التشبع ( $S$ ):

$$\begin{aligned}Se &= wG_s \\ S \times 0.71 &= \frac{12.40}{100} \times 2.71 \\ S &= \frac{12.40 \times 2.71}{100 \times 0.71} = 0.4733 \\ &= 47.33 \%\end{aligned}$$

مثال (3.2):

تربة مشبعة بالماء ومحتواها المائي % 26.00 ووزنها النوعي 2.66، فأوجد:

١. نسبة الفراغات ( $e$ )
٢. وحدة الوزن ( $\gamma$ )
٣. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ )

الحل:

بما أن التربة مشبعة بالماء فإن درجة التشبع % 100  $S = 1$  أو  $S = 1$ .

١. نسبة الفراغات ( $e$ ):

$$\begin{aligned} Se &= wG_s \\ 1 \times e &= \frac{26.00}{100} \times 2.66 \\ e &= 0.69 \end{aligned}$$

٢. وحدة الوزن ( $\gamma$ ):

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{(G_s + w)}{1 + e} \gamma_w \\ &= \frac{(2.66 + 0.26)}{1 + 0.69} \times 9.81 \\ &= 16.95 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

٣. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ ):

$$\begin{aligned} \gamma_d &= \frac{G_s}{1 + e} \gamma_w \\ &= \frac{2.66}{1 + 0.69} \times 9.81 \\ &= 15.44 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

مثال (4.2):

احسب وحدة الوزن لتربة رملية لها الخواص التالية:

$$\begin{aligned} D_r &= 75 \% & e_{\max} &= 0.70 & e_{\min} &= 0.42 \\ G_s &= 2.68 & w &= 11 \% \end{aligned}$$

الحل:

باستخدام المعادلة (10.2) يمكن إيجاد نسبة الفراغات للتربة في حالتها الطبيعية:

$$\begin{aligned} D_r &= \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \\ 75 &= \frac{0.70 - e}{0.70 - 0.42} \times 100 \\ e &= 0.49 \end{aligned}$$

وبالتعويض في المعادلة (14.2):



$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{(G_s + w)}{1 + e} \gamma_w \\ &= \frac{(2.68 + 0.11)}{1 + 0.49} \times 9.81 \\ &= 18.37 \text{ kN} / \text{m}^3\end{aligned}$$

## ٢,٢ 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 باللدونة، وبحسب محتواها المائي فإنها تقع في أحد الحالات الأربع التالية:

(١) الحالة الصلبة Solid State

(٢) الحالة شبه الصلبة Semisolid State

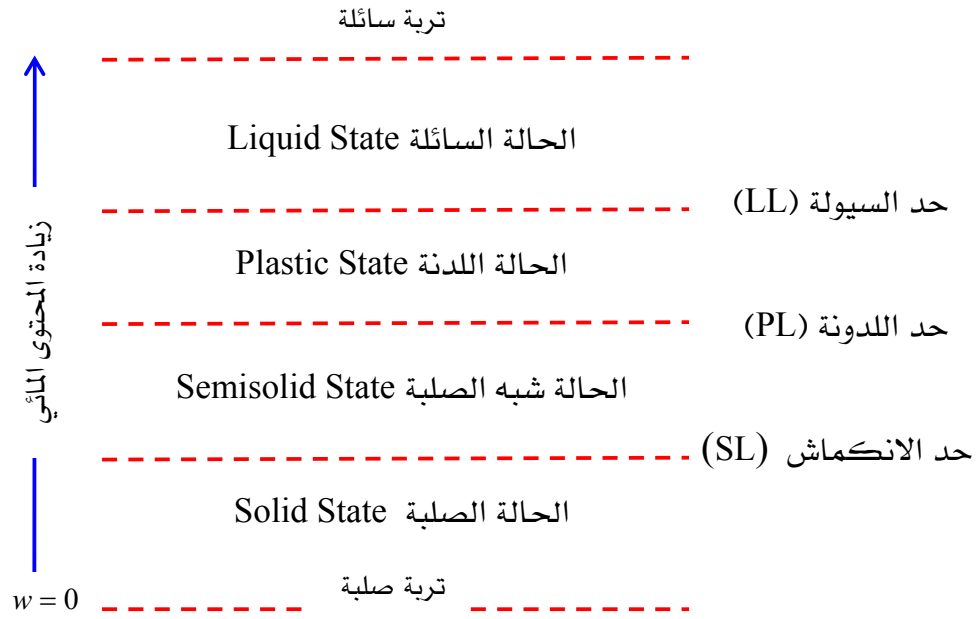
(٣) الحالة اللدنة Plastic State

(٤) 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 في أوائل القرن العشرين الميلادي وعرفها كما يلي:

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

وتعد حدود أتبرج 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):

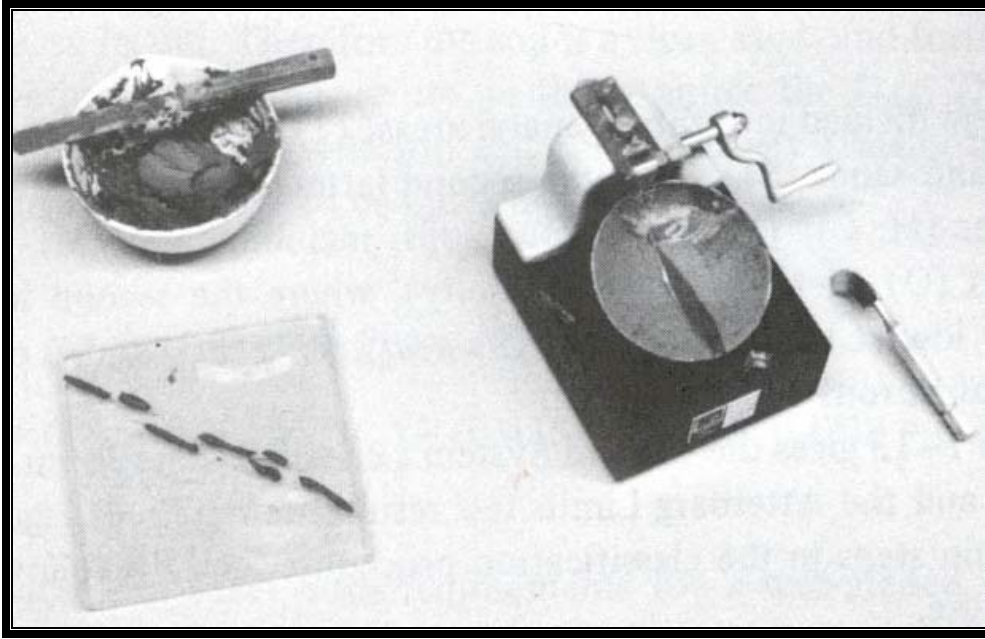
يعرف حد السيولة بأنه المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من الحالة السائلة إلى الحالة اللدنة. والتربة التي لها حد سيولة عالي تدل على احتوائها على كميات طين عالية وبالتالي تكون قوة تحملها للقص ضئيلة وتتصرف كما لو أنها سائل لزج.

وعملياً فإن حد السيولة هو المحتوى المائي الذي تقفل عنده العلامة المحددة على جهاز كازاجراندي Casagrande بعد 25 ضربة، وموضح ذلك الجهاز في الشكل (3.2). وسوف يتم التطرق إلى تجربة حدود أتريج في الجانب العملي من هذا المقرر.

### حد اللدونة (Plastic Limit (PL):

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 السيولة هو المحتوى المائي عندما يبدأ خيط من التربة قطره 3 mm في التشقق والتفتت بعد درجته على لوح زجاجي مخصص لهذا الغرض، كما يوضحه الشكل (3.2). والتربة التي لا تتدحرج ولا تصل إلى هذا الخيط الرفيع من التشكيل تعد تربة غير لدنة.



شكل (3.2): أجهزة تحديد حدي السيولة واللدونة

### حد الانكماش (SL) Shrinkage Limit:

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 لملء 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 (PI) Plasticity Index والذي يوضح من خلال العلاقة:

$$PI = LL - PL \quad (16.2)$$

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:

$$LI = \frac{w - PL}{PI} \quad (17.2)$$

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

مثال (5.2):

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 (16.2) يمكن تحديد حد اللدونة:

$$PI = LL - PL$$

$$21.7 = 48.3 - PL$$

$$PL = 26.6\%$$

أما علامة السيولة فتوجد باستخدام المعادلة (١٧،٢):

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

### مسائل Problems:

١. عينة متماسكة من التربة على شكل أسطواني تم استخراجها من موقع أحد المشاريع فكان قطر تلك العينة 35 mm وارتفاعها 78 mm، وعند وزنها قبل وبعد تجفيفها في الفرن (105 °C) تبين أنها تزن 156 gm و 98 gm على التوالي، فأوجد ما يلي:

١. المحتوى المائي ( $w$ )

٢. وحدة الوزن الطبيعية ( $\gamma$ )

٣. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ )

٢. عينة من التربة وزنها الكلي 402 gm وحجمها الكلي  $180 \text{ cm}^3$  ووزنها النوعي 2.68 وبعد تجفيفها كان وزنها 320 gm، أوجد ما يلي:

١. المحتوى المائي ( $w$ )

٢. وحدة الوزن الطبيعية ( $\gamma$ )

٣. وحدة الوزن الجافة ( $\gamma_d$ )

٤. نسبة الفراغات ( $e$ )

٥. المسامية ( $n$ )

٦. درجة التشبع ( $S$ )

٣. عينة تربة تبدأ في التفتت عند خيط قطره 3 mm وذلك عندما يكون محتواها المائي 32.7%، احسب حد السيولة لهذه التربة عندما تكون علامة اللدونة 13.8%.

.٤

عينة من التربة أجري عليها اختبار حد السيولة وأظهرت النتائج التالية:

عدد الضربات (N)	المحتوى المائي (%)
34.5	41
36.4	26
37.6	19
38.6	15
40.7	9

كما أجري اختباران لحد اللدونة وأظهرا محتوى مائي 23.2% و 23.6%، فأوجد كل من حد السيولة وحد اللدونة لهذه التربة.

٥. احسب نسبة الفراغات والوزن النوعي لتربة مشبعة تماماً، إذا علمت أن

نسبة المحتوى المائي لهذه التربة 40% ووحدة وزنها الطبيعية  $18.5 \text{ kN/m}^3$ .

٦. تربة مشبعة بالماء نسبة الفراغات بها 0.42 والوزن النوعي لها 2.66، احسب

وحدة وزنها الطبيعية ونسبة المحتوى المائي بها.

٧. من خلال علاقات أوزان وأحجام التربة أثبت أن:

$$n = \frac{e}{1+e} \quad \text{أ.}$$

$$Se = wG_s \quad \text{ب.}$$



## خواص واختبارات التربة

### تصنيف التربة

تصنيف التربة

٣

**الجدارة:**

معرفة الطرق المختلفة لتصنيف التربة، والآلية الصحيحة للتصنيف، وتحليل وتمثيل نتائج التصنيف بيانياً.

**الأهداف:** بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على:

- معرفة طرق تصنيف التربة.
- استنتاج النسب المكونة للتربة من الركام والرمل والطين والطين.
- إجراء الاختبار الميكانيكي للتربة وتمثيلها بيانياً.
- تصنيف التربة باستخدام طريقة التصنيف القياسي الموحد.
- تصنيف التربة باستخدام نظام آشتو.

**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** ست ساعات

**العوامل المساعدة:**

- إجراء اختبار التحليل المنخلي على التربة في المعمل، وكذلك اختبار الهيدروميتر.
- حاسب آلي لإجراء العمليات الحسابية ورسم منحنيات تدرج حبيبات التربة.



### ١,٣ 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 حل المشاكل التي قد تظهر عند استخدامها، إضافة على ذلك، فالتصنيف يعد بمثابة الدليل عند الحاجة إلى دراسة التربة نظرياً أو معملياً.

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)

وسوف يتم التطرق في هذا الباب إلى أهم نظامي تصنيف التربة وأكثرهما انتشاراً واستخداماً وهما:

- نظام التوحيد القياسي
- نظام آشتو

إن حجم حبيبات التربة من المعايير الرئيسية في تصنيف التربة، وبناءً عليها فقد تم تقسيم التربة إلى أربعة مجموعات كما يوضحها الجدول (١,٣). ويلاحظ أن الحد الفاصل بين الركام والرمل هو القطر 2.0 mm ويمكن تمييز حبيباتها بالنظر، كما أن الحد الفاصل بين الطمي والطين هو القطر 0.002 mm وهذه الحبيبات يصعب رؤيتها بالعين المجردة. أما الحد الفاصل بين الرمل والطين فتسبب إلى قطر المنخل الذي فتحته 0.074 mm وهذا المنخل يسمى منخلاً رقم 200.

### ٢,٣ التدرج الحبيبي للتربة Particle Size Distribution of Soil

يعد التدرج الحبيبي من أهم الطرق المستخدمة في تصنيف التربة، حيث يتم فصل حبيباتها عن بعضها البعض وحسب أحجامها 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 (الركام والرمل) والذي تزيد أقطار الحبيبات فيه عن ٠,٠٧٤ mm، فيما يجرى اختبار التحليل الهيدرومترى على الجزء الناعم من التربة (الطمي والطين) وذلك لصعوبة فصل حبيباتها بالتحليل المنخلي. وتشكل نتائج كلا الاختبارين التدرج الحبيبي للتربة.

جدول (١.3): تصنيف التربة بحسب حجم حبيباتها

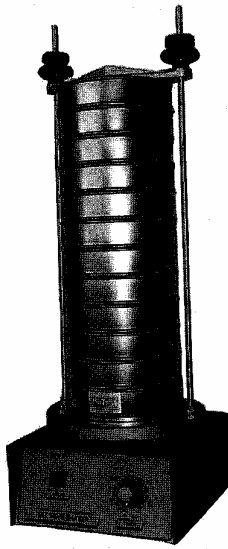
التصنيف Classification	حجم الحبيبات Particles Size
ركام Gravel	$2.0 \text{ mm} < \text{Gravel}$
رمل Sand	$0.074 \text{ mm} < \text{Sand} < 2.0 \text{ mm}$
طمي Silt	$0.002 \text{ mm} < \text{Silt} < 0.074 \text{ mm}$
طين Clay	$\text{Clay} < 0.002 \text{ mm}$

## ١.٢.٣ 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 Pan، كما هو موضح في الشكل (1.3). وهذه المناخل ذات فتحات ثابتة يتم ترتيبها من الأكبر إلى الأصغر حسب قطر الفتحات الموضحة في الجدول (2.3).

جدول (2.3): 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



(ب)



(أ)

شكل (1.3): بعض مناخل التحليل الميكانيكي: (أ) مفرقة، (ب) على الهزاز الميكانيكي

يتم 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 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 المتبقية (100 %). وسوف يتم شرح تجربة التحليل المنخلي في الجزء العملي من هذا المقرر.

### ٢.٢.٣ اختبار التحليل الهيدرومترى (المائي) Hydrometer Analysis Test

يجرى هذا الاختبار على التربة ذات الحبيبات الدقيقة والمارة من منخل رقم (200) والتي من أهمها نسبة المواد الطينية. والهيدرومتر المستخدم في هذا الاختبار، والموضح في الشكل (٢.٣)، يقيس كثافة محلول الماء والتربة والذي يدل على نسبة حبيبات التربة العالقة بذلك المحلول. وتفصل الحبيبات عن طريق سرعة ترسبها ( $v$ ) خلال مقياس مائي بمعرفة مسافة ترسب الحبيبات ( $L$ ) خلال فترة من الوقت ( $t$ ) تحسب من بداية الترسب، أي أن:

$$v = \frac{L}{t} \quad (1.3)$$

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

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \quad (2.3)$$

حيث:

$\gamma_s$  = وحدة وزن حبيبات التربة الصلبة

$\gamma_w$  = وحدة وزن الماء

$\eta$  = لزوجة الماء

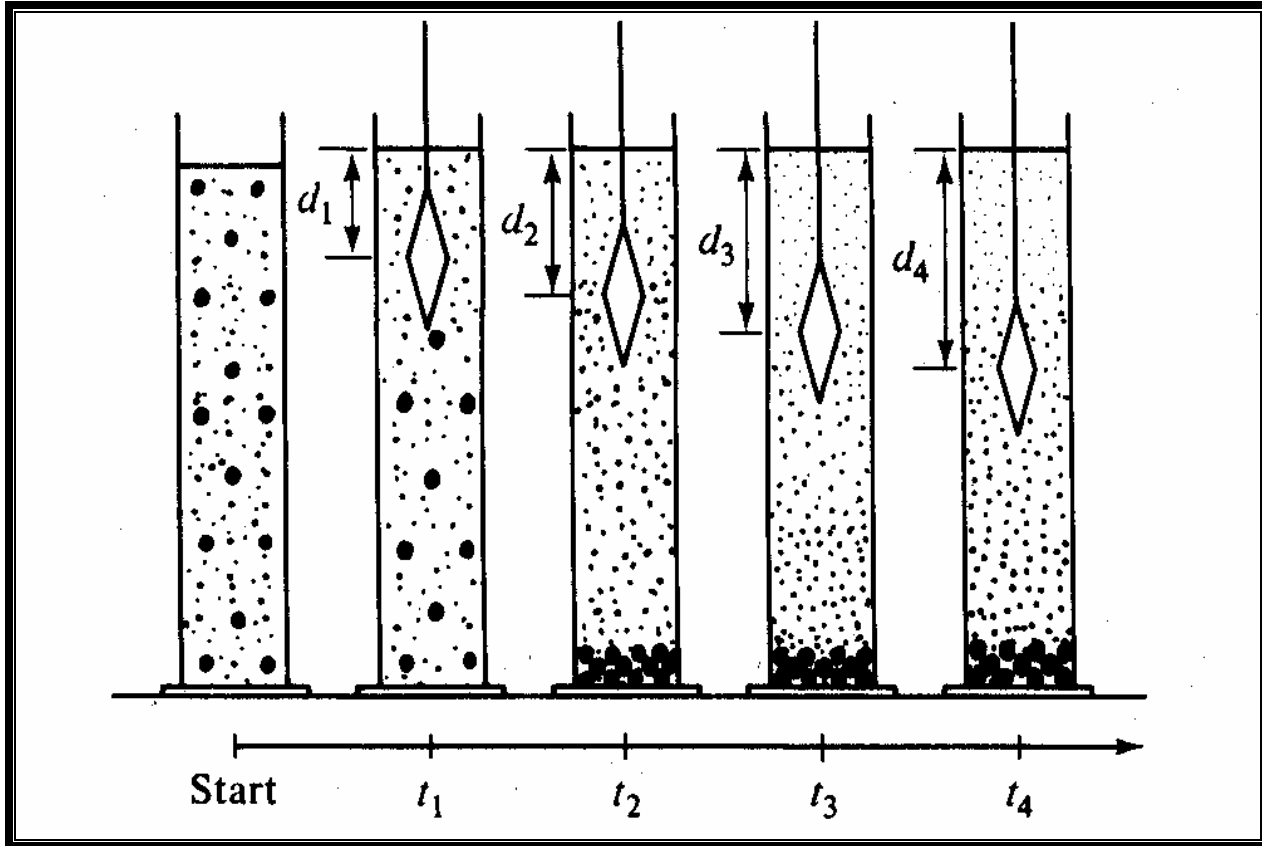
$D$  = قطر حبيبات التربة

وحيث أن  $\gamma_s = G_s \gamma_w$  وبإعادة ترتيب المعادلة (2.3) والتعويض بها في المعادلة (1.3)، فإن قطر حبيبات التربة يحسب من العلاقة:

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.3)$$

شريطة أن تأخذ المعادلة (3.3) الوحدات:

$D$  (mm)       $\eta$  (gm.sec/cm<sup>2</sup>)       $\gamma_w$  (gm/cm<sup>3</sup>)       $L$  (cm)       $t$  (min)



شكل (٢.٣): اختبار الهيدروميتر (Atkins, H. N.- 1983)

كما يمكن أن تختصر المعادلة (3.3) في الصيغة التالية:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (4.3)$$

حيث أن:

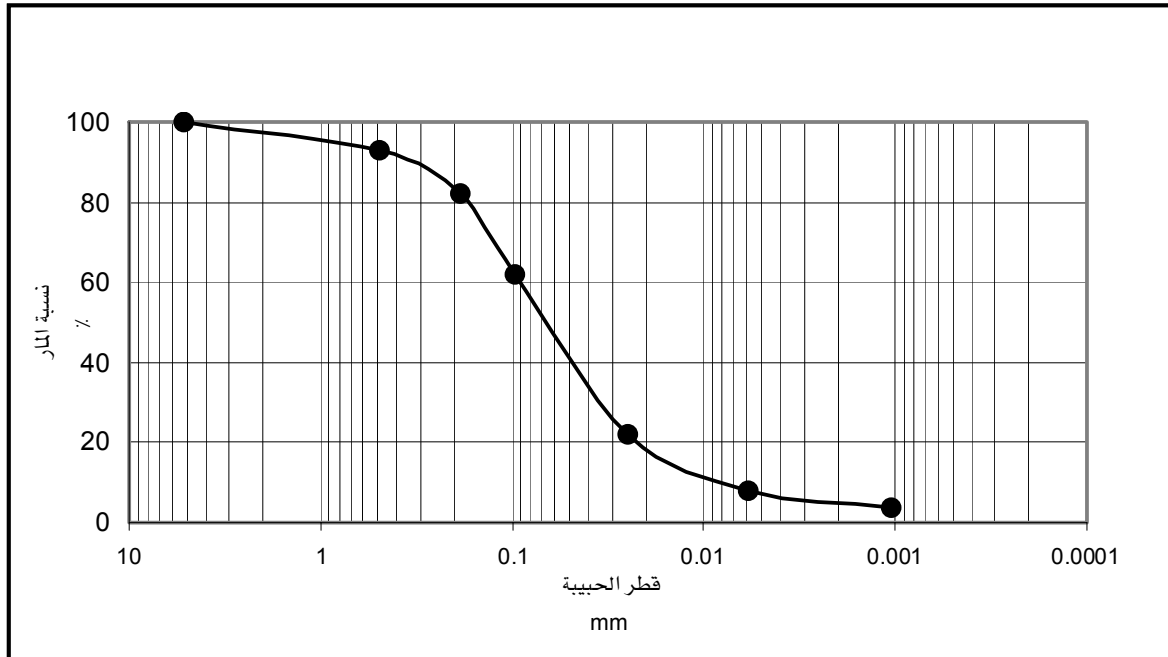
$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \quad (5.3)$$

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

### ٣.٢.٣ 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 يمكن الحصول على نسب حبيبات كل من الركام والرمل والطيني والطين. فمثلاً من الشكل (3.3) وحسب تصنيف التربة الوارد في جدول (1.3) يتضح أن هذه التربة تتكون من:



شكل (3.3): عينة لمنحنى التدرج الحبيبي

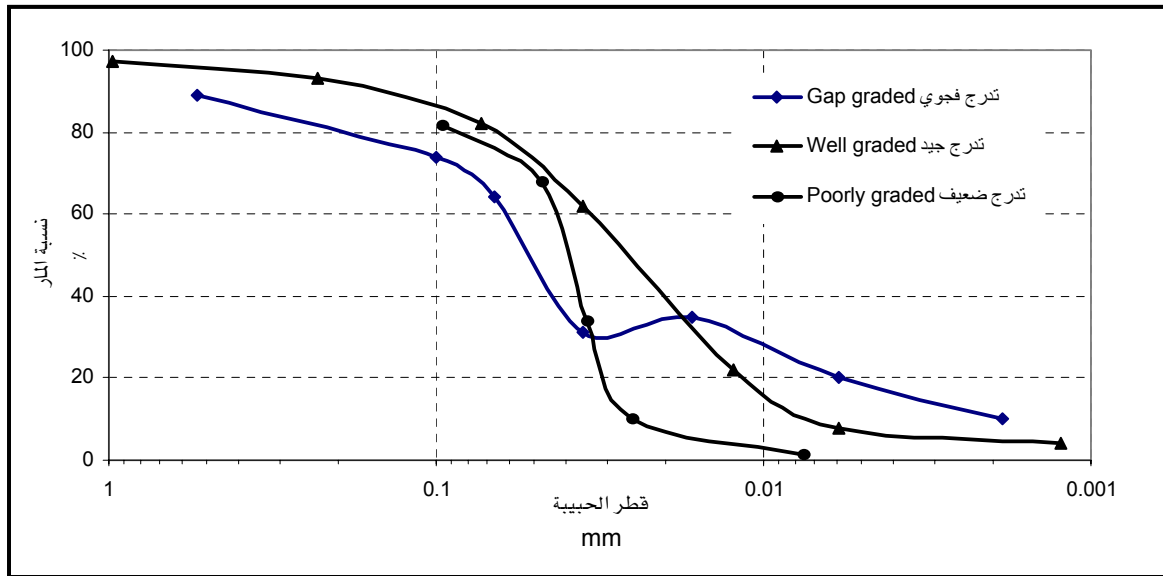
■ ركام Gravel = 2%

▪ رمل Sand = 45%

▪ طمي Silt = 49%

▪ طين Clay = 4%

يمكن الحكم على طبيعة توزيع حبيبات التربة من خلال منحنى التدرج الحبيبي كما يوضح الشكل (4.3). 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 (4.3): 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

يعرف القطر المؤثر 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

يمكن حساب معامل الانتظام للتربة 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:

$$C_u = \frac{D_{60\%}}{D_{10\%}} \quad (6.3)$$

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

## ٣) معامل التدرج ( $C_c$ ) Gradation Coefficient

يدخل 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:

$$C_c = \frac{D_{30\%}^2}{D_{10\%} \times D_{60\%}} \quad (7.3)$$

فإذا كان  $C_c$  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 (1.3):

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 منحني التدرج الحبيبي.  
 ب - تحديد  $D_{10\%}$  ،  $D_{30\%}$  ،  $D_{60\%}$  من منحني 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)	نسبة التربة المتبقية (%)	النسبة التراكمية للمتبقية من التربة (%)	نسبة المار من كل منخل (%)
4	4.750	19.7	4.93	4.93	95.07
10	2.000	42.8	10.70	15.63	84.37
20	0.850	76.2	19.05	34.68	65.32
40	0.425	128.5	32.12	66.80	33.2
60	0.250	108.3	27.07	93.87	6.13
100	0.15	12.5	3.13	97.00	3.00
200	0.074	8.4	2.10	99.10	0.90
Pan		3.6	0.90	100.00	0
المجموع		400	100		

أ - رسم منحني التدرج لعينة التربة يوضحها الشكل (5.3).

ب - تكون قيم  $D_{10\%}$  ،  $D_{30\%}$  ،  $D_{60\%}$  من منحني التدرج على النحو التالي:

$$D_{10\%} = 0.28 \text{ mm}$$

$$D_{30\%} = 0.40 \text{ mm}$$

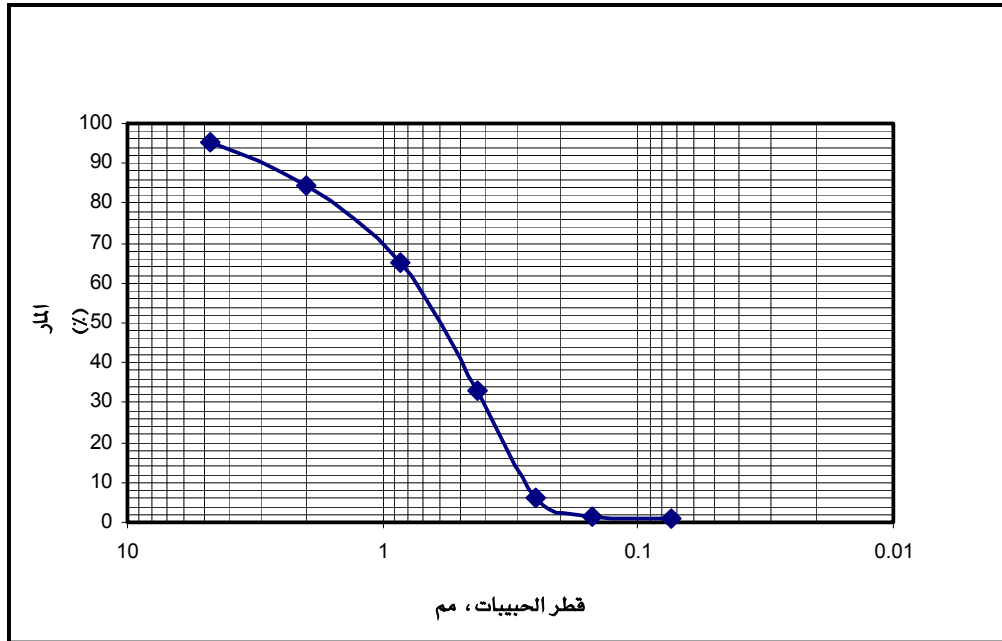
$$D_{60\%} = 0.74 \text{ mm}$$

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 (5.3): منحنى التدرج الحبيبي لنتائج التربة الموضحة في المثال (1.3)

### ٣,٣ تصنيف التربة بنظام التوحيد القياسي Unified Soil Classification System

- تعتمد هذه الطريقة بالدرجة الأولى على التوزيع الحبيبي للتربة ونتائج التحليل الميكانيكي لها. وحسب نسبة التربة المارة من منخل رقم 200 فإن نظام التصنيف هذا يوزع التربة إلى مجموعتين:
١. مجموعة التربة الخشنة وتشمل الركام والرمل وذلك عندما تكون نسبة المار من منخل رقم 200 أقل من 50% وتأخذ الرمز **G** للتربة الركامية 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

ويرمز للتربة من حيث التدرج الحبيبي ودرجة اللدونة بالرموز التالية:

W: تدرج جيد (Well graded)

P: تدرج ضعيف (Poorly graded)

H: عالي اللدونة (High plasticity)، حيث حد السيولة أكبر من 50%.

L: منخفض اللدونة (Low plasticity)، حيث حد السيولة أقل من 50%.

وتوصف التربة، في الغالب، حسب هذا التصنيف برمزين: الأول ويمثل نوع التربة الرئيسي، أما الرمز الثاني فيوضح التقسيم الفرعي وحالة التربة، فمثلاً:

GW = ركام جيد التدرج

SP = رمل ضعيف التدرج

CH = طين عضوي عالي اللدونة

والجدول (3.3) يبين نظام التصنيف باستخدام التوحيد القياسي، ويمكن استخدام الشكل الموضح في هذا الجدول، والذي يبين مخطط اللدونة، في تصنيف التربة.

### مثال (2.3):

باستخدام نظام التوحيد القياسي، 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) = 26 %

الحل:

من الجدول (٣.٣):

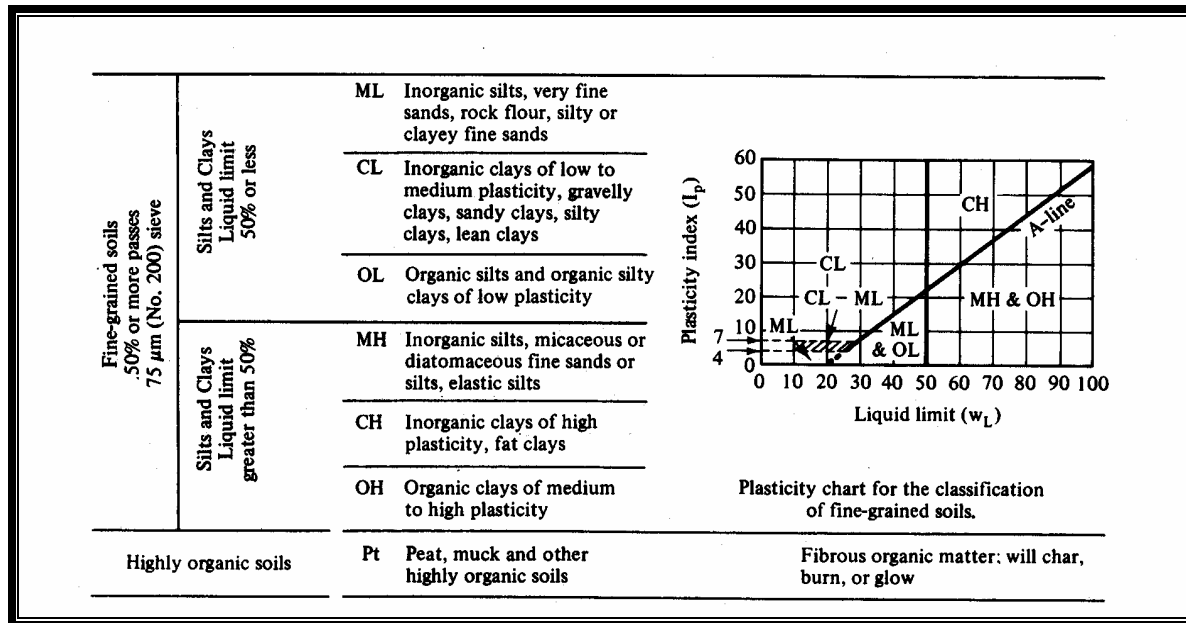
- حيث نسبة المار من منخل رقم 200 أقل من 50 %، فالتربة إما أن تكون ركامية أو رملية.
- حيث نسبة المار من منخل رقم 4 أكثر من 50 %، فالتربة تكون رملية S.
- من الشكل الموضح في الجدول (٣.٣)، وعند حد السيولة 42 % ومؤشر اللدونة 16 %، فإن التربة تقع فوق الخط A وبمؤشر لدونة أعلى من ٧.
- إذن فالتربة تصنف على أنها SC، أي أنها تربة تحتوي على خليط من الرمل والطين.

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
		GP	Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3
		GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Not meeting both criteria for GW
	Gravels with fines	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4
				Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7
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
		SP	Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3
	Sands with fines	SM	Silty sands, sand-silt mixtures	Not meeting both criteria for SW
		SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits plot below "A" line or plasticity index less than 4
				Atterberg limits plot above "A" line and plasticity index greater than 7

Classification on basis of percentage of fines  
GW, GP, SW, SP  
GM, GC, SM, SC  
Borderline classification  
requiring use of dual symbols

Less than 5% pass 75 µm sieve  
More than 12% pass 75 µm sieve  
5% to 12% pass 75 µm sieve



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 أن تكون ركامية أو رملية.
- حيث نسبة المار من منخل رقم 4 أقل من 50 %، فالتربة ركامية G.
- حيث قيمة  $C_u$  أعلى من ٤ و  $C_c$  تتراوح بين ١ و ٣.

- إذن فإن تصنيف التربة هو GW ، أي أنها تربة ركامية جيدة التدرج وقد تحتوي على نسبة بسيطة من المواد الناعمة.

### ٤.٣ تصنيف التربة بنظام آشتو Soil Classification using (AASHTO) System

يصنف نظام آشتو التربة إلى سبع مجموعات رئيسية موزعة من A-1 إلى A-7، كما يبينها الجدول (4.3). وتحتوي كل من المجموعة الأولى (A-1) والسابعة (A-7) على مجموعتين فرعيتين، فيما تتضمن المجموعة الثانية (A-2) على أربع مجموعات فرعية.

يعتمد هذا التصنيف على نسبة المار من منخل رقم (٢٠٠)، فإذا كانت 35% أو أقل فإن التربة تكون حبيبية وتصنف على أنها: A-3، A-2 أو A-1. أما إذا كانت نسبة المار من منخل رقم (٢٠٠) أعلى من 35% فإن التربة تكون ناعمة وتصنف على أنها: A-4، A-5، A-6 أو A-7. كما يعتمد نظام آشتو على نسبة المار من المناخل ١٠ و ٤٠ و ٢٠٠، بالإضافة إلى حالة لدونة التربة. والشكل (6.3) مبني على حالة اللدونة ويمكن استخدامه في التصنيف للمجموعات من A-4 إلى A-7 وكذلك المجموعات الفرعية من المجموعة الرئيسية A-2.

بمعرفة حجم حبيبات التربة وبيانات اللدونة فيمكن تصنيفها باستخدام الجدول (4.3) مبدئياً من اليسار إلى اليمين، حيث أن المجموعة التي تحقق شروط التصنيف هي التربة المعنية.

إن التربة المصنفة بنظام آشتو تكون لها المواصفات التالية:

- A-1: تربة ذات تدرج جيد من الركام والرمل الخشن وقليل من الرمل الناعم ولها لدونة منخفضة.
- A-2: تربة حبيبية تحتوي على مواد ناعمة تصل نسبتها إلى 35%.
- A-3: تربة ذات رمل ناعم ونظيف.
- A-4، A-5: تربة طمي.
- A-6، A-7: تربة طين.

**معامل المجموعة Group Index :**

يرتبط معامل المجموعة ( $GI$ ) بنظام آشتو لتصنيف التربة ، وهو رقم يكتب بين قوسين بعد اسم المجموعة. ويعتمد هذا المعامل على:

١. نسبة المار من التربة على منخل رقم ٢٠٠

٢. حد السيولة

معامل اللدونة

ويستنتج معامل المجموعة من العلاقة التالية:

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad (8.3)$$

حيث:

$$F = \text{نسبة المار من التربة على منخل رقم ٢٠٠}$$

$$LL = \text{حد السيولة}$$

$$PI = \text{معامل اللدونة}$$

وعندما تكون قيمة معامل المجموعة سالبة فتؤخذ صفراً، أما إذا كانت رقماً أكبر من الصفر فتقرب إلى أقرب رقم صحيح. وبصفة عامة فإن التربة التي لها معامل مجموعة كبير تكون تربة غير مرغوبة وخاصة في تشييد الطرق.

**مثال (4.3):**

صنف التربة باستخدام طريقة آشتو وأوجد معامل المجموعة لها ، إذا علمت أن نسبة المار من التربة على منخل رقم (200) هي 45% وكل من حدي السيولة واللدونة هما 35% و 20% على التوالي.

الحل: من الجدول (٤.٣):

- حيث أن نسبة المار من منخل رقم (200) هي 45% ، وهي نسبة أعلى من 35% ، فإن التربة تكون إحدى المجموعات: A-4، A-5، A-6، A-7.
- حيث أن حد السيولة 35% ، فإن التربة تكون إما A-4 أو A-6.
- من حدي السيولة واللدونة يتم حساب مؤشر اللدونة:

$$PI = LL - PL = 35 - 20 = 15\%$$

وبالتالي فإن تصنيف التربة هو A-6

أما معامل المجموعة فيتم تحديده من العلاقة:

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

$$GI = (45 - 35)[0.2 + 0.005(35 - 40)] + 0.01(45 - 15)(15 - 10)$$

$$= 10[0.2 + 0] + .01(30)(5) = 3.5 \cong 4$$

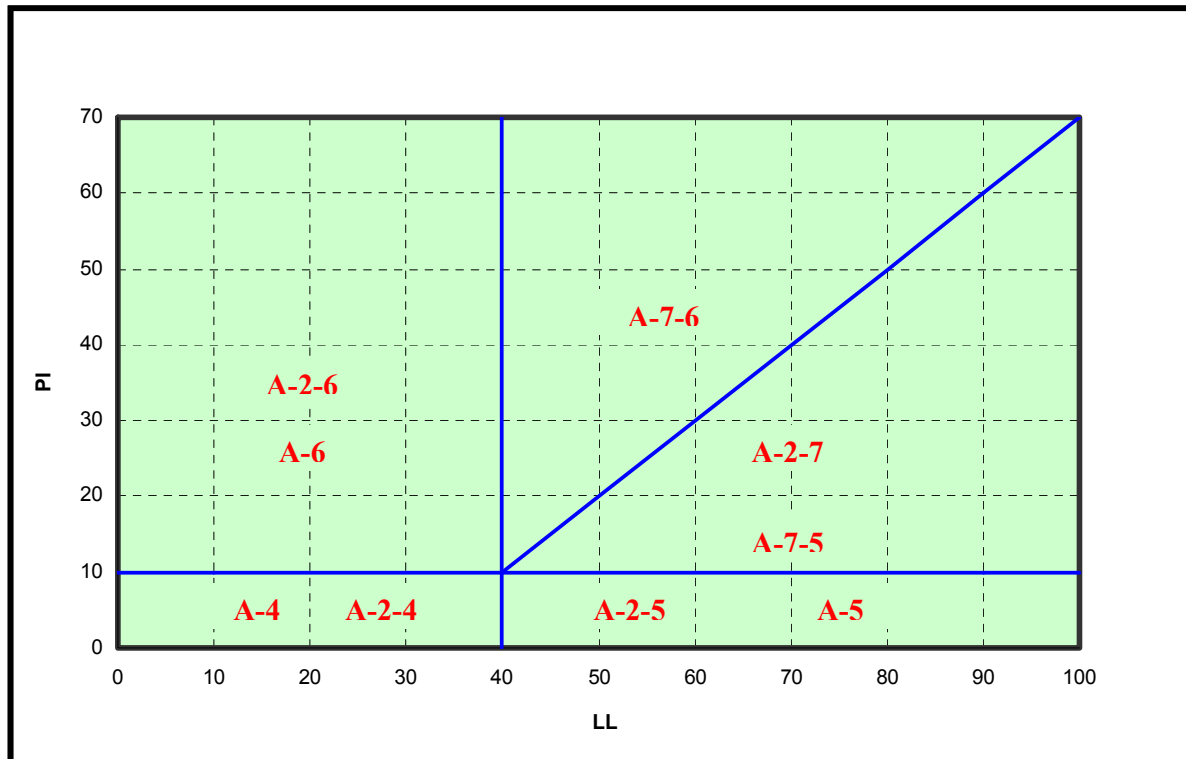
أي أن تصنيف التربة: A-6(4)

جدول (٤.٣): تصنيف التربة بنظام آشتو

General Classification	Granular Materials (35% or less passing No.200)						
Group Classification	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
<b>Sieve analysis, percent passing</b>							
No.10 (2.0 mm)	50 max	-	-	-	-	-	-
No.40( 0.425mm)	30max.	50max.	51max.	-	-	-	-
No. 200(0.075)	15max.	25max.	10max.	35max.	35max.	35max.	35max.
<b>Characteristics of fraction passing No.40</b>							
Liquid limit	-		-	40max.	41min.	40max.	41min.
Plasticity index		6max.	N.P.	10max.	10max.	11min.	11min.
<b>Usual types of significant constituent materials</b>	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
<b>General rating as subgrade</b>	Excellent to good						



<b>General Classification</b>	<b>Silt-Clay (more than 35% passing No.200)</b>			
<b>Group Classification</b>	<b>A-4</b>	<b>A-5</b>	<b>A-6</b>	<b>A-7 A-7-5, A-7-6</b>
<b>Sieve analysis, percent passing</b>				
No.10 (2.0 mm)				
No.40( 0.425mm)				
No. 200(0.075 mm)	36min.	36min.	36min.	36min.
<b>Characteristics of fraction passing No.40</b>				
Liquid limit	40max.	41min.	40max.	41min.
Plasticity index	10max	10max.	11min.	11min.
<b>Usual types of significant Constituent materials</b>	Silty soils		Clayey soils	
<b>General rating as subgrade</b>	Fair to poor			



شكل (6.3): تصنيف التربة بنظام آشتو حسب حالة اللدونة

## مثال (5.3):

باستخدام طريقة آشتو، ما هو تصنيف التربة الموضحة بياناتها في الجدول أدناه؟ وما هو معامل المجموعة لها؟

نسبة المار من التربة (%)	رقم المنخل
٣٠	١٠
٢٣	٤٠
١٥	٢٠٠
٣٤	LL
٢٢	PL

الحل: من الجدول (٤.٣):

- حيث أن نسبة المار من منخل رقم (200) هي 15%، وهي نسبة أقل من 35%، فإن التربة تكون إحدى المجموعات: A-1، A-2، A-3.
- حيث أن نسبة المار من منخل رقم (40) هي 40%، فإن التربة ليست بالمجموعة A-3 وهي بذلك إما A-1 أو A-2.
- حيث أن حد السيولة 34%، فإن التربة تكون إما A-2-4 أو A-2-6.
- من حدي السيولة واللدونة يتم حساب مؤشر اللدونة:

$$PI = LL - PL = 34 - 22 = 12\%$$

وبالتالي فإن تصنيف التربة هو A-2-6

أما معامل المجموعة فيتم حسابه:

$$GI = (15 - 35)[0.2 + 0.005(34 - 40)] + 0.01(15 - 15)(12 - 10) = 0$$

أي أن تصنيف التربة: A-2-6(0)

## مسائل Problems

(١) عينة من التربة أجري عليها إختبار التحليل المنخلي فكانت النتائج كما في الجدول التالي:

وزن المنخل + وزن التربة (gm)	وزن المنخل (gm)	قطر المنخل (mm) أو (in)	رقم المنخل
٥٦٥,٠٧	565.07	1"	-
٥٨٣,٤٣	٥٤٦,٤٣	1/2"	-
٥٦٢,٠٠	٥٠٨,٠٥	1/4"	-
٥٤١,٦٨	٥٤٢,٧٧	4.76 mm	٤
٤٦٩,٦٩	٤٤٩,٣٥	2.00 mm	١٠
٥٢١,٩٨	٤١١,٤٥	0.84 mm	٢٠
٦١٧,٤٠	٤٦١,١٢	0.42 mm	٤٠
٤٩٥,٦٨	٣٠٣,٥٣	0.149 mm	١٠٠
٣١٦,٣٥	٣٠١,٣٥	0.074 mm	٢٠٠
٣٩١,٧٩	٣٨٧,٣٧		Pan

والمطلوب:

- رسم منحنى التدرج الحبيبي.
- تحديد القطر المؤثر  $D_{10\%}$  ، و معامل الانتظام  $C_u$  ، و معامل التدرج  $C_c$ .

(٢) ما هو تصنيف التربة الموضحة بياناتها في السؤال رقم (١) باستخدام طريقة التصنيف الموحد.

(٣) باستخدام طريقة آشتو AASHTO ، ما هو تصنيف كل من التربة A والتربة B الموضحة بياناتهما

في الجدول أدناه؟ وما هو معامل المجموعة لكل منهما؟

نسبة المار من التربة (%)		رقم المنخل
B	A	
١٨	٥٤	١٠
٣٨	٤٦	٤٠
٤١	٣٤	٢٠٠
٣٣	٣٩	LL
٢٠	٢٧	PL



## خواص واختبارات التربة

### دمك التربة

دمك التربة

٤

**الجدارة:**

اتباع الطرق الهندسية الصحيحة لإجراء اختبارات دمك التربة في كل من المعمل والموقع لمشاريع التشييد اللازمة، ومقارنة درجة الدمك التي يتم الحصول عليها بالموصفات المرتبطة بتلك المشاريع.

**الأهداف:**

بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على:

- معرفة الأهداف الرئيسة من دمك التربة في مشاريع التشييد.
- معرفة نظرية الدمك.
- تحديد أقصى كثافة جافة للتربة ونسبة المياه المناظرة لها في المعمل.
- تحديد الكثافة الجافة للتربة في الموقع.
- تحديد نسبة درجة دمك التربة ومقارنتها بالموصفات الهندسية المحددة للمشروع.
- معرفة العوامل المؤثرة على دمك التربة.
- اختيار المعدات المناسبة لدمك التربة في الموقع بما يتناسب مع نوع تربة المشروع.

**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة ٩٥٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** ست ساعات

**العوامل المساعدة:**

- إجراء اختبار الدمك على التربة في المعمل بالطريقتين: اختبار بروكتور القياسي واختبار بروكتور المعدل.
- القيام بزيارة ميدانية إلى أحد مشاريع التشييد التي تتطلب عمليات الدمك مثل الطرق.
- حاسب آلي لإجراء العمليات الحسابية ورسم منحنيات الدمك.

## 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.

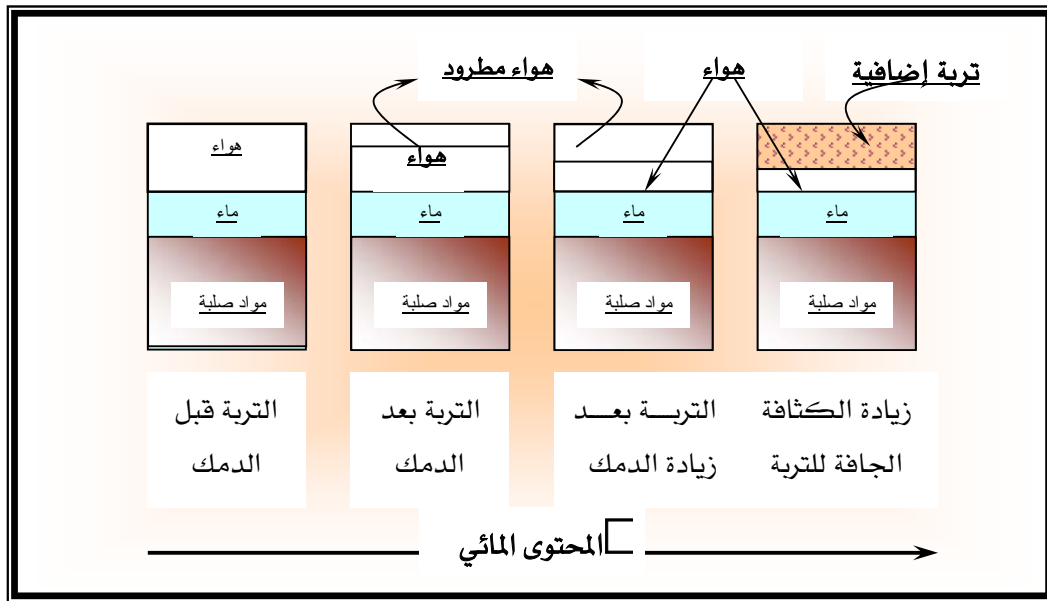
وكانت عملية دمك التربة تتم بطريقة غير مدروسة ومعرضة لكثير من المحاولات التي ينتج عنها بعض الأخطاء، حتى عام 1930 تقريباً حينما استطاع مهندس أمريكي يدعى بروكتور R. R. Proctor أن يحدد مجموعة عوامل ترتبط بدمك التربة وهي:

١. الكثافة الجافة ( $\gamma_d$ ) 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 ينضغط 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 ( $\gamma_{d-max}$ ) 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 حداً فاصلاً، فإذا كان المحتوى المائي للتربة أقل من هذا الحد فإن التربة تكون خشنة وصعبة الدمك وذات فراغات كثيرة تؤدي إلى انخفاض كثافتها الجافة، أما إذا كان المحتوى المائي أعلى من هذا الحد فإن حبيبات التربة تكون قابلة للحركة والانزلاق والتباعد مما يؤدي إلى انخفاض كثافتها الجافة أيضاً.

هناك عدة اختبارات تستخدم لدمك التربة في المعمل عوضاً عن دمكها في الحقل، وذلك نظراً لسهولة وسرعة إجراء هذه الاختبارات، والتي أهمها:

١. اختبار بروكتور القياسي Standard Proctor Test

٢. اختبار بروكتور المعدل Modified Proctor Test

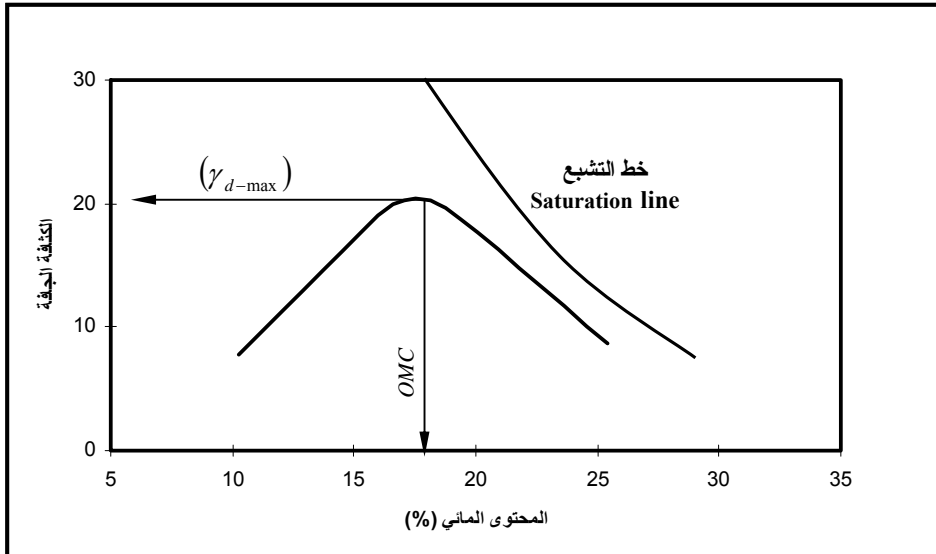
## ٣. اختبار هارفرد Harvard Test

## 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

وتمثل 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 ( $\gamma_{d-max}$ ) 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 ( $\gamma$ ) 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 ( $\gamma_{d-max}$ ) 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  $13 \text{ kN/m}^3$  إلى  $23 \text{ kN/m}^3$  بينما تتراوح قيم نسبة المياه الحرجة 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 منحى دمك التربة لا يمكن أن يتقاطع مع خط التشبع تحت أي ظروف. ويتم الحصول على كثافة التربة الخاصة بخط أو منحى التشبع بقيم مختلفة للمحتوى المائي وبتطبيق المعادلة:

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

حيث:  $\gamma_{zav}$  = وحدة وزن التربة عند درجة التشبع أو عندما لا يوجد هواء بالفراغات.

$\gamma_w$  = 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).

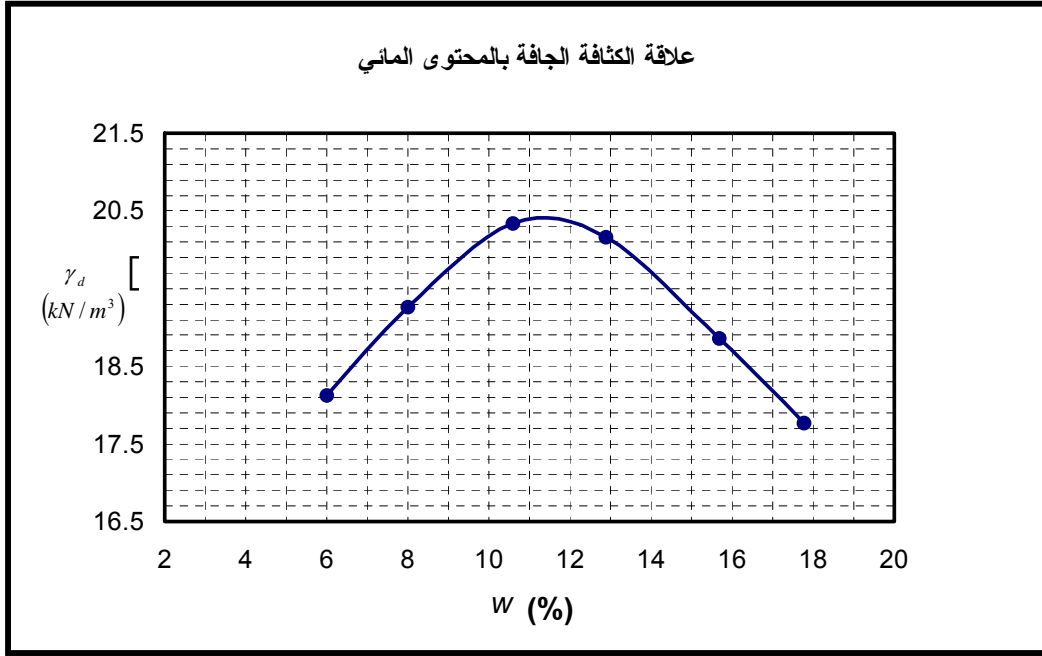
والجدول (2.4) يبين خطوات الحل لهذا المثال مع الأخذ في الاعتبار تحويل الوحدات من  $\text{gm/cm}^3$  إلى  $\text{kN/m}^3$ ، فيما يوضح الشكل (4.4) العلاقة بين أقصى كثافة جافة للتربة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها، ومن هذا الشكل فإن:

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

$$OMC = 11.40 \%$$

جدول (2.4): خطوات حل مثال (1.4)

رقم العينة	المحتوى المائي (%)	وزن التربة (gm)	حجم القالب ( $\text{cm}^3$ )	الكثافة الرطبة ( $\text{gm/cm}^3$ )	الكثافة الرطبة ( $\text{kN/m}^3$ )	الكثافة الجافة ( $\text{kN/m}^3$ )
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

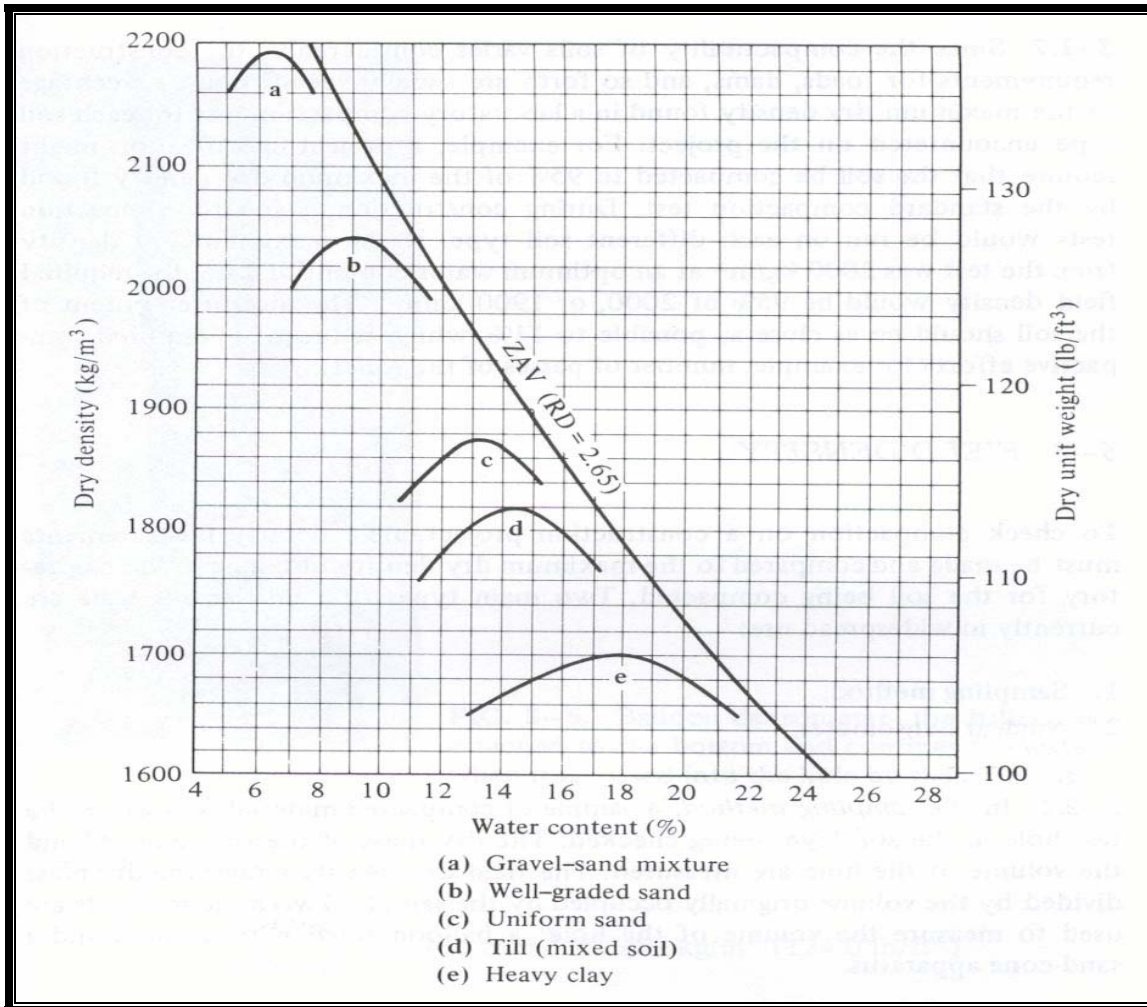
باستخدام أي نوع من اختبارات الدمك فإن الخواص الهندسية للتربة المدموكة وتركيبية حبيباتها تتأثر مباشرة بعدة عوامل أهمها:

(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

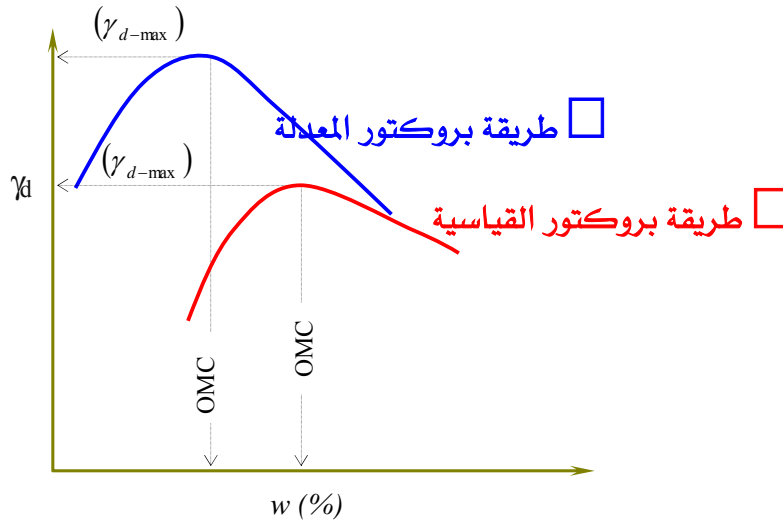
$h$  = ارتفاع سقوط المطرقة

$W_h$  = 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

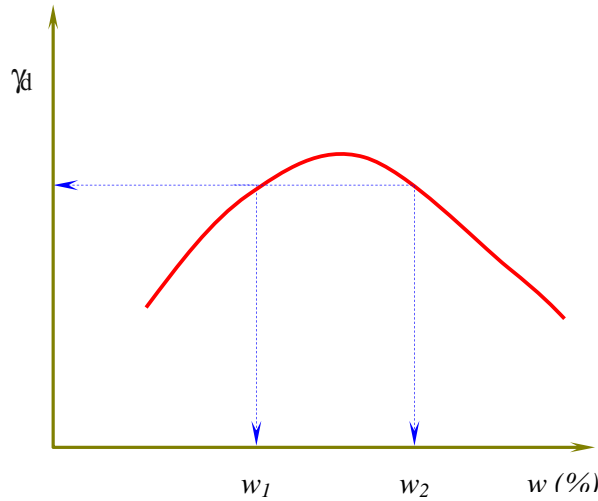
أما طاقة الدمك التي يولدها اختبار بروكتور المعدل فإنها:

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

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  $400 \text{ kN/m}^2$ . 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

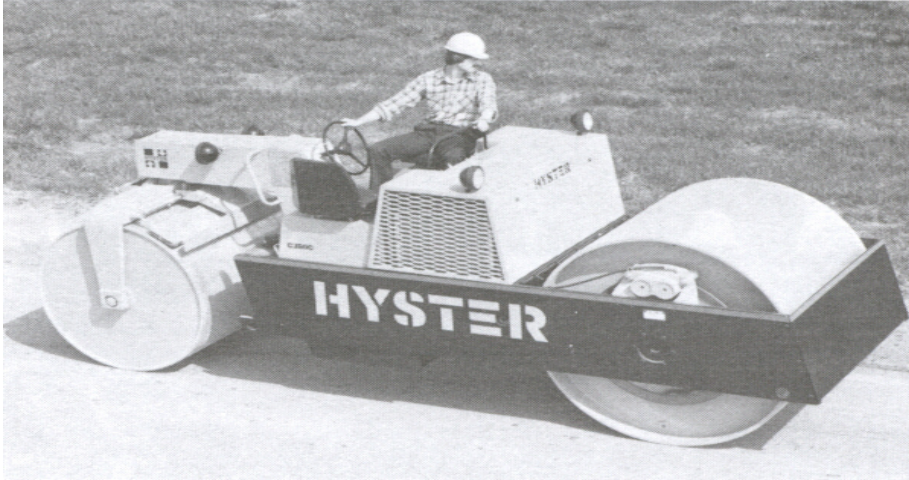
الشكل (9.4) يبين مدحلة ثقيلة محمولة بأربع عجلات، حيث تغطي ما نسبته % 80 من التربة التي تحتها. ويمكن استخدام هذا النوع من المعدات للتربة المتماسكة وغير المتماسكة، ويعيب عليه أنه يحتاج إلى مسارات متقاربة لإنهاء عملية الدمك. كما أن عجلات هذه المعدة ممكن أن تولد ضغط على التربة يصل إلى  $700 \text{ kN/m}^2$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

### ■ 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  $7000 \text{ kN/m}^2$  . 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

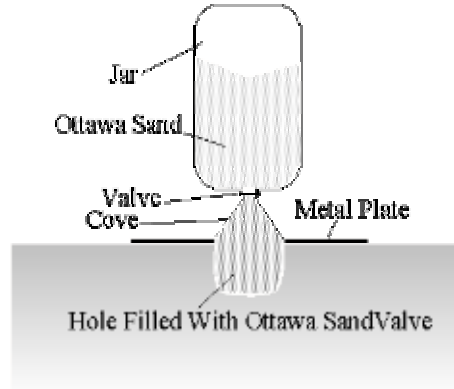


شكل (12.4): هزاز يدوي

#### 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 ( $\gamma_{sand}$ ) 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:

$$RC = \text{الدمك النسبي}$$

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

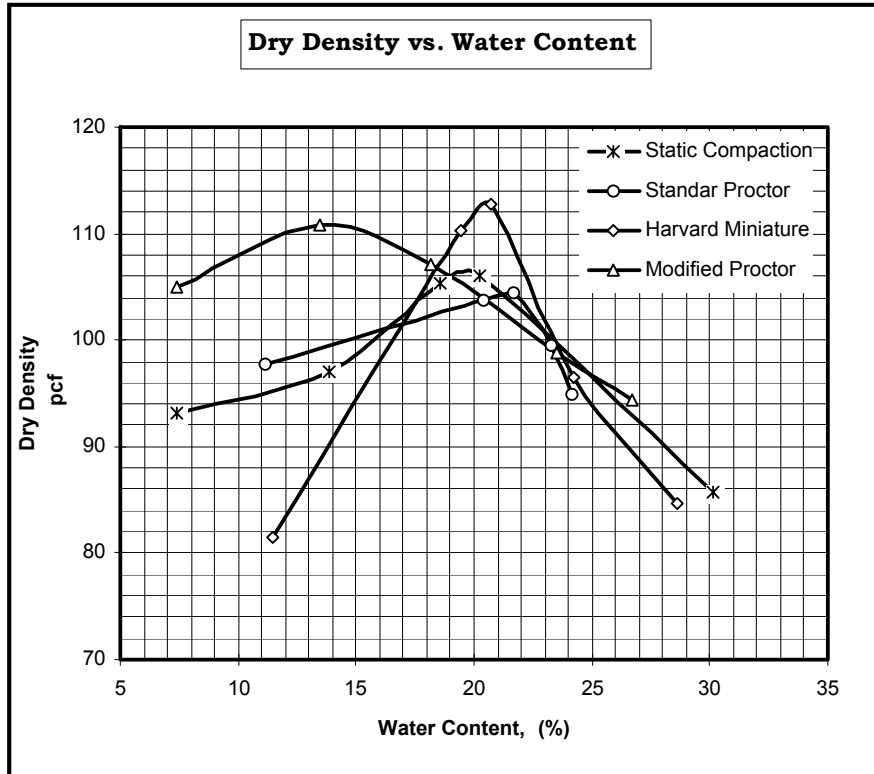
$$\gamma_{d-max(lab)} = \text{أقصى كثافة جافة للتربة في المعمل}$$

## مسائل Problems

٤) عينة من التربة كثافتها الرطبة  $19.85 \text{ kN/m}^3$  وتم وزنها وهي رطبة فكان وزنها  $1012.7 \text{ gm}$ ، أما وزنها وهي جافة فكان  $992.3 \text{ gm}$ . 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 ( $\text{kN/m}^3$ ).
- 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 $\gamma$ ( $kN/m^3$ )	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  $15.7 \text{ kN/m}^3$ ، 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؟





## خواص واختبارات التربة

### نفاذية التربة

نفاذية التربة

٥

**الجدارة:**

إدراك أهمية المياه وتأثيرها على التربة، وتحديد معامل نفاذية التربة للماء معملياً وميدانياً.

**الأهداف:**

بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على:

- معرفة سرعة المياه المتدفقة وكمية تدفقها بتطبيق قانون دارسي.
- تحديد نفاذية التربة في المعمل.
- تحديد نفاذية التربة في الحقل باستخدام اختبار الضخ.
- حساب نفاذية التربة المكافئة لطبقات التربة.
- معرفة العوامل المؤثرة على نفاذية التربة.

**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة ٩٠٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** ست ساعات

**الوسائل المساعدة:** الإطلاع على أجهزة قياس نفاذية التربة في المعمل.

## ١,٥ 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 البعض 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. وبتعبير آخر فإن سريان الماء خلال فراغات التربة يعتمد على الميل الهيدروليكي، والشكل (1.5) يوضح تدفق الماء خلال كتلة من التربة المتجانسة في حالة وجود اختلاف في الضغط الهيدروستاتيكي والذي تبينه العلاقة التالية:

$$i = \frac{h}{L} \quad (1.5)$$

حيث:

$$i = \text{الميل الهيدروليكي}$$

$$h = \text{فرق الضاغط المائي بين نقطتين}$$

$$L = \text{المسافة بين النقطتين التي لهما فرق الضاغط المائي}$$

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

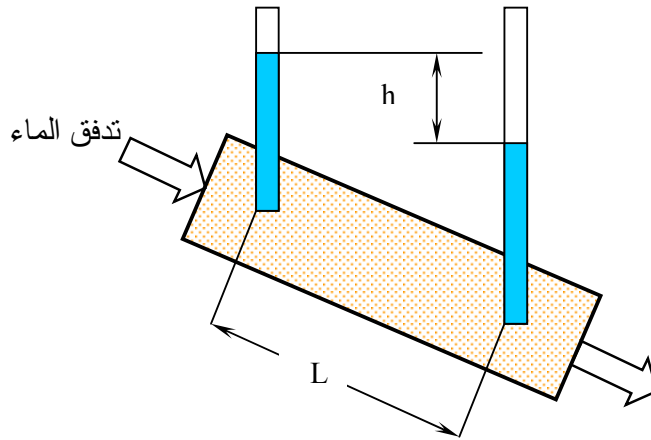
$$i = \frac{h}{L} = \frac{30}{3 \times 1000} = 0.01$$

## ٢,٥ قانون دارسي Darcy's Law

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

$$v = k i \quad (2.5)$$

حيث ( $k$ ) تمثل 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 (1.5). فالتربة ذات الحبيبات الخشنة لها نفاذية أعلى من التربة ذات الحبيبات الناعمة.



شكل (1.5): نفاذية التربة نتيجة الضغط الهيدروستاتيكي

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

المعادلة التالية:

$$Q = k i A \quad (3.5)$$

حيث:

$$Q = \text{تدفق الماء}$$

$$k = \text{نفاذية التربة}$$

$$i = \text{الميل الهيدروليكي}$$

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

### 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

جدول (1.5): قيم معامل النفاذية

التقريبية لأنواع التربة الرئيسة.

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

مثال (1.5):

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.

$$A = 2 \times 1 = 2 m^2$$

الميل الهيدروليكي:

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

وبتطبيق المعادلة (3.5)، فإن معدل التدفق:

$$\begin{aligned} Q &= k i A \\ &= 6 \times 10^{-3} \times 0.03 \times 2 = 3.6 \times 10^{-4} m^3 / s \\ &= 3.6 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{hr} \times 24 \frac{hr}{day} = 31.10 m^3 / day \text{ per meter of layer width} \end{aligned}$$

### ٢,٥ 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.

## ١,٣,٥ 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

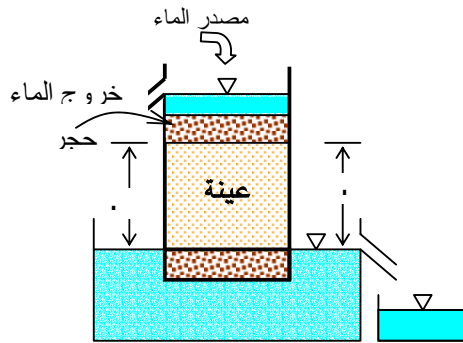
• اختبار الجهد المتغير Falling head test

إلا أن تحديد معامل النفاذية في المعمل لا يخلو من بعض العيوب والتي منها:

١. أن الاختبارات العملية لا تعكس نفاذية التربة في الطبيعة بشكل دقيق.
٢. أن الاختبارات العملية تقيس نفاذية التربة الرأسية فقط دون تحديد نفاذية التربة الأفقية.
٣. أن نتائج الاختبارات العملية قد تتعرض لخطأ في أخذ قياسات التجربة
٤. أن نتائج الاختبارات العملية تتأثر بعدة عوامل مثل درجة الحرارة ودرجة تشبع العينة ونسبة فراغات الهواء فيها.

## اختبار الجهد الثابت Constant head test:

يستخدم هذا الاختبار لتحديد معامل النفاذية للتربة غير المتماسكة والتي لها نفاذية عالية مثل الركام والرمل. والشكل (٥,٢) يوضح جهاز النفاذية ثابت الجهد، حيث توضع عينة التربة داخل جهاز أسطواني 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 (٥,٢): جهاز اختبار الجهد الثابت

ويلاحظ أن الماء الزائد من جهاز الاختبار يتم تصريفه حتى يكون ضغط الماء ثابت عند مدخل ومخرج الجهاز لضمان ثبات الميل الهيدروليكي، ومن هنا جاءت تسمية هذا الاختبار. وبتطبيق قانون دارسي، كما توضحه المعادلة (٥.٣)، فإن الحجم الكلي للماء الذي تم تجميعه خلال فترة من الزمن ( $t$ ) يمكن تحديده بواسطة العلاقة:

$$Q = k i A t \quad (4.5)$$

وحيث أن الميل الهيدروليكي ( $i$ ) يمكن تحديده بمعرفة ارتفاع عينة التربة ( $L$ ) وفرق الضغط المائي ( $h$ )، وبالتعويض بالمعادلة (1.5) في المعادلة (4.5)، يمكن استنتاج العلاقة:

$$Q = k \frac{h}{L} A t \quad (5.5)$$

بإعادة ترتيب المعادلة (5.5) فإنه معامل النفاذية، باستخدام اختبار الجهد الثابت، يتم تحديده من العلاقة:

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (6.5)$$

### مثال (2.5):

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

حدد 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:



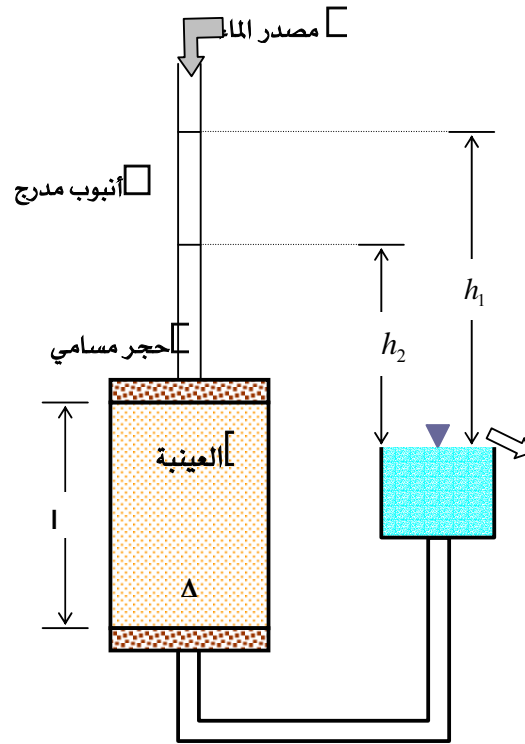
$$Q = 350 \text{ ml} = 35000 \text{ mm}^3$$

وبتطبيق المعادلة (6.5)، فإن معامل النفاذية لعينة التربة:

$$k = \frac{QL}{Aht} = \frac{35000 \times 120}{7854 \times 60 \times 2 \times 60} = 0.7427 \text{ mm/s} = 7.43 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

### اختبار الجهد المتغير Falling head test:

الشكل (3.5) 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 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 (3.5): 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 صيغتها النهائية وبعد اشتقاقها رياضياً، تستنتج من العلاقة:

$$k = 2.30 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (7.5)$$

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 (3.5):

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

حدد 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:

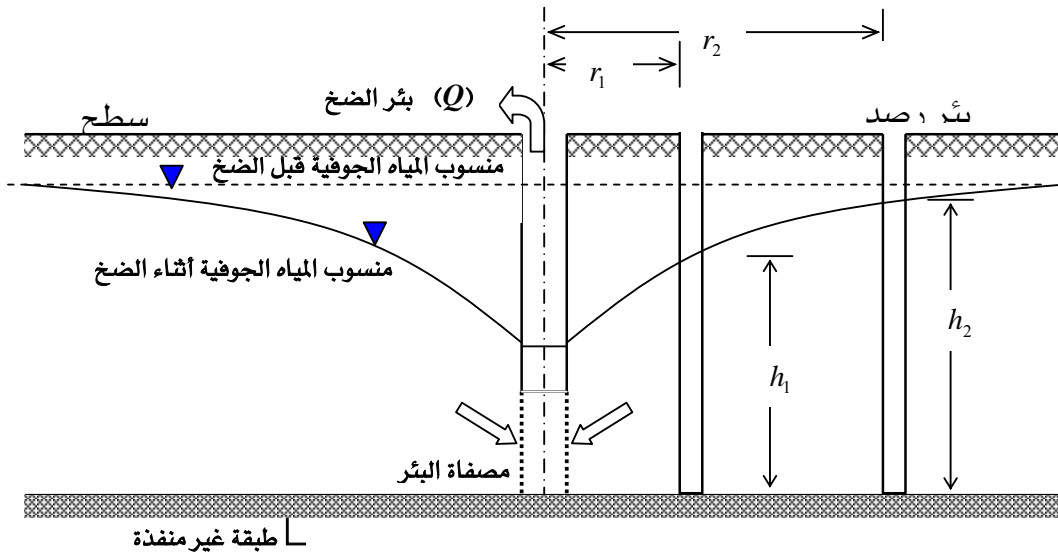
$$a = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 5^2}{4} = 19.63 \text{ mm}^2$$

وبتطبيق المعادلة (7.5)، فإن معامل النفاذية لعينة التربة:

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

### ٢,٣,٥ 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. ولا تكون الاختبارات الحقلية مجددة 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 (4.5)، 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 (4.5): اختبار الضخ

وعند إجراء الاختبار فإنه يلزم 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:

$$k = \frac{Q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \quad (8.5)$$

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 (4.5):

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 (8.5) فإن معامل النفاذية لطبقة التربة:

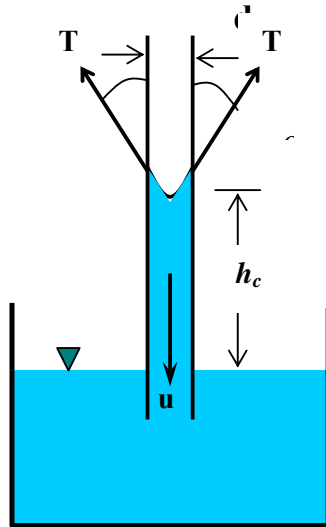
$$\begin{aligned} k &= \frac{Q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} = \frac{0.1033 \times \ln\left(\frac{45.86}{4.33}\right)}{\pi((8.72)^2 - (6.05)^2)} \\ &= 1.97 \times 10^{-3} \text{ m/s} \\ &= 1.97 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \end{aligned}$$

## ٤,٥ ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية Water Rise by Capillary Tube :

إن الفراغات المتصلة للتربة، والتي تعلو مستوى سطح المياه الجوفية، تكون أشبه بالأنابيب الشعرية التي من خلالها يرتفع الماء إلى سطح الأرض. وبهذه الخاصية فإن التربة تعوض ما تفقده من ماء نتيجة التبخر بفعل درجة الحرارة أو العوامل الطبيعية الأخرى.

لمعرفة الخاصية الشعرية يمكن ملاحظة ارتفاع الماء في الأنبوب الذي يوضع في وعاء مملوء بالماء كما يوضحها الشكل (5.5). وبدراسة الأنبوبة الشعرية الموضحة في هذا الشكل يتبين أن هناك حالة من

الاتزان بين قوة الماء الناتجة عن وزنه weight of water وقوة الشد السطحي surface tension المائل والموزع على جدار الأنبوب. ويمكن تحديد القوى الناجمة عن هذه الخاصية كما يلي:



الشكل (5.5) ارتفاع الماء في الأنبوبة الشعرية

- قوة وزن الماء :  $u = \pi \frac{d^2}{4} h_c \gamma_w$

- قوة الشد السطحي :  $\pi d T \cos \alpha$

ولأن حالة الاتزان الاستاتيكي تتطلب تساوي القوتين فإن:

$$\pi \frac{d^2}{4} h_c \gamma_w = \pi d T \cos \alpha \quad (9.5)$$

$$h_c = \frac{4T \cos \alpha}{d \gamma_w} \quad (10.5)$$

حيث:

$d$  = قطر الأنبوبة الشعرية

$h_c$  = ارتفاع الماء في الأنبوبة الشعرية

$\gamma_w$  = وحدة وزن الماء

$$T = \text{قوة الشد السطحي}$$

$$\alpha = \text{زاوية التصاق الماء مع جدار الأنبوب}$$

مثال (5.5):

احسب مقدار قوة الشد السطحي عندما يرتفع الماء بمقدار 1.75 m في أنبوبة شعرية قطرها 0.01 mm وميلان تقعر سطح الماء مع جدار الأنبوب  $10^\circ$ .

الحل:

بتطبيق المعادلة (10.5) بعد إعادة ترتيبها مع معطيات المسألة فإن:

$$\begin{aligned} T &= \frac{h_c d \gamma_w}{4 \cos \alpha} \\ &= \frac{1.75 \times 0.01 \times 10^{-3} \times 9.81}{4 \cos 10} = 4.36 \times 10^{-5} \text{ kN/m} = 0.044 \text{ N/m} \end{aligned}$$

### ٥,٥ النفاذية المكافئة للتربة الطبقة Equivalent Permeability in Stratified Soil :

تتكون التربة في الطبيعة من عدة طبقات تختلف في تجانسها وسمكها. لذا فإن معامل النفاذية قد يختلف من طبقة لأخرى تبعاً لخواص كل طبقة واتجاه تدفق المياه فيها، وعلى هذا فمن الضروري إيجاد قيمة مكافئة للنفاذية لكل الطبقات في الاتجاه الرأسي وقيمة أخرى مكافئة في الاتجاه الأفقي. وعملياً فإن قيمة النفاذية في الاتجاه الرأسي تكون أقل من قيمتها في الاتجاه الأفقي بسبب ما تتعرض له التربة من الدمك الطبيعي الذي يقلل من الفراغات المتصلة رأسياً.

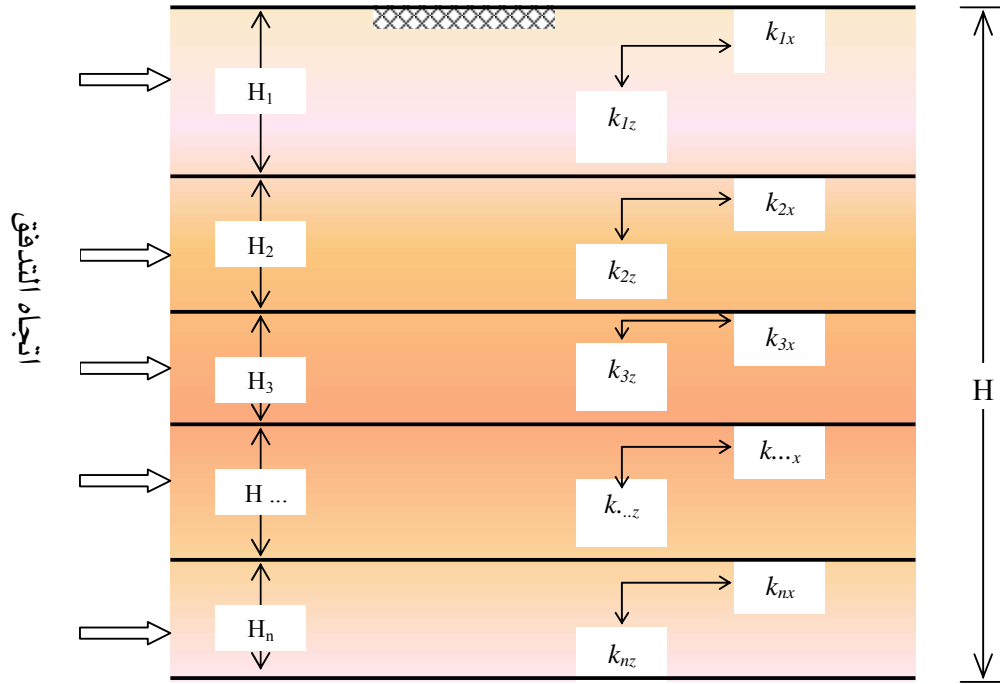
الشكل (6.5) يوضح مجموعة من الطبقات بعدد (n) و تبيينها التعريفات التالية:

- السمك الإجمالي لهذه الطبقات: (H)
- سمك الطبقات: (H<sub>1</sub> H<sub>2</sub> H<sub>3</sub> ... H<sub>n</sub>)
- معامل النفاذية في الاتجاه الأفقي للطبقات:

$$(k_{x1} \ k_{x2} \ k_{x3} \ \dots \ k_{xn})$$

• معامـل النفاذية في الاتجاه الرأسـي للطبقات:

$$(k_{z1} \ k_{z2} \ k_{z3} \ \dots \ k_{zn})$$



شكل (6.5): نفاذية التربة في الاتجاهين الرأسي والأفقي لمجموعة طبقات

ويمكن حساب معامـل النفاذية المكافئ في الاتجاه الأفقي  $k_x$  من العلاقة التالية:

$$k_x = \frac{H_1 k_{x1} + H_2 k_{x2} + H_3 k_{x3} + \dots + H_n k_{xn}}{H} \quad (11.5)$$

أما معامـل النفاذية المكافئ في الاتجاه الرأسي  $k_z$  فيمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$k_z = \frac{H}{\frac{H_1}{k_{z1}} + \frac{H_2}{k_{z2}} + \frac{H_3}{k_{z3}} + \dots + \frac{H_n}{k_{zn}}} \quad (12.5)$$



مثال (6.5):

تحتوي تربة على ثلاث طبقات أفقية ذات أعماق مختلفة ، وكل طبقة لها نفاذية متباينة وذلك على

النحو التالي:

$$H_1 = 3 \text{ m} \quad k_1 = 80 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$H_2 = 5 \text{ m} \quad k_2 = 20 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

$$H_3 = 8 \text{ m} \quad k_3 = 65 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

احسب النفاذية المكافئة في الاتجاهين الأفقي والرأسي.

الحل:

النفاذية المكافئة في الاتجاه الأفقي  $k_x$ :

$$k_x = \frac{H_1 k_{x1} + H_2 k_{x2} + H_3 k_{x3}}{H_1 + H_2 + H_3}$$

$$k_x = \frac{3 \times 80 \times 10^{-6} + 5 \times 20 \times 10^{-5} + 8 \times 65 \times 10^{-6}}{3 + 5 + 8} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$$

النفاذية المكافئة في الاتجاه الرأسي  $k_z$ :

$$k_z = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{\frac{H_1}{k_{z1}} + \frac{H_2}{k_{z2}} + \frac{H_3}{k_{z3}}}$$

$$k_z = \frac{3 + 5 + 8}{\frac{3}{80 \times 10^{-6}} + \frac{5}{20 \times 10^{-5}} + \frac{8}{65 \times 10^{-6}}} = 8.6 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

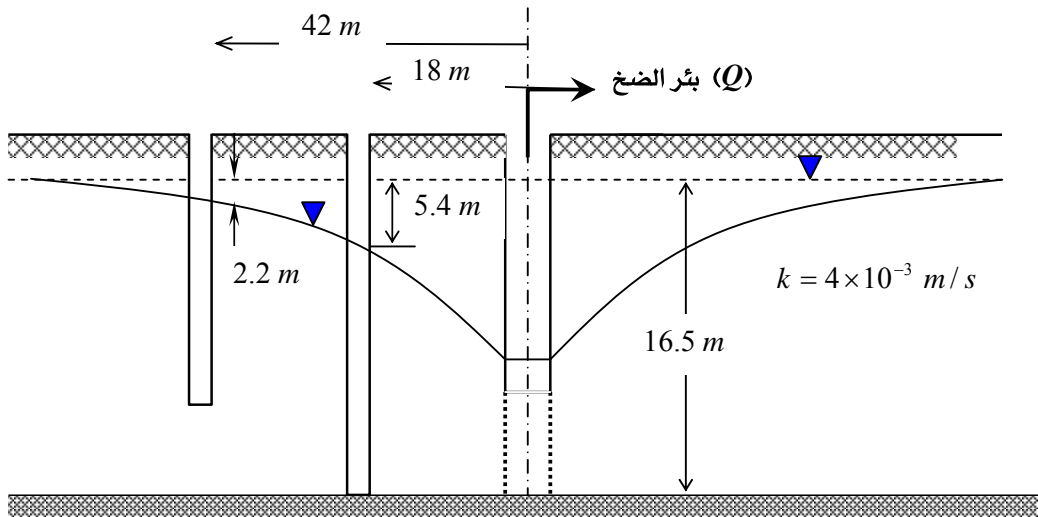
٦,٥ العوامل المؤثرة على نفاذية التربة **Factors Affecting Soil Permeability** :

تتأثر نفاذية التربة بعدة عوامل ترتبط بتكوين وخواص التربة. ومن أبرز هذه العوامل ما يلي:

١. نسبة الفراغات: حيث تزيد نفاذية التربة بارتفاع نسبة الفراغات بين حبيباتها.
٢. حجم الحبيبات: بزيادة حجم حبيبات التربة تزيد النفاذية كما هو الحال في التربة الركامية.
٣. شكل الحبيبات: حيث تتخفف النفاذية للتربة التي شكل حبيباتها دائري عن تلك التي لها الشكل الزاوي.
٤. درجة الحرارة: وهذا العامل يؤثر على لزوجة السائل ووحدة وزن التربة، حيث تزيد النفاذية بزيادة درجة حرارة الماء.
٥. درجة التشبع: حيث تقل النفاذية للتربة التي درجة التشبع بها عالية.

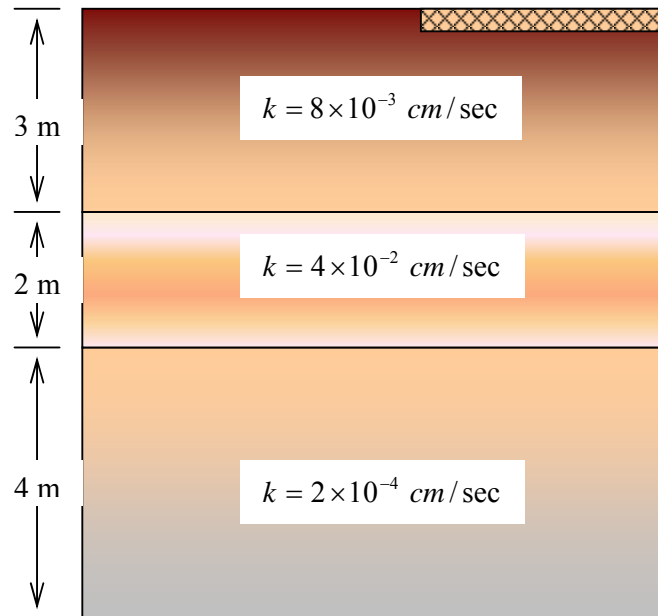
**مسائل Problems** :

- (١) طبقة رملية سمكها  $2\text{ m}$  ونفاذيتها  $2 \times 10^{-4}\text{ m/s}$  والميل الهيدروليكي لها  $2\%$  ، فأوجد سرعة حركة الماء خلال الطبقة وكمية المياه المتدفقة من هذه الطبقة في اليوم الواحد.
- (٢) احسب ارتفاع الماء في أنبوبة شعيرية قطرها  $0.01\text{ mm}$  وقوة الشد السطحي لها  $0.05\text{ N/m}$  وتميل بزاوية  $8^\circ$  مع جدار الأنبوب.
- (٣) أجر اختبار الضخ على طبقة التربة الموضحة أدناه، فأوجد كمية الضخ من البئر الرئيسية (Q).



٤) احسب النسبة بين معامل النفاذية الأفقي ومعامل النفاذية الرأسي لطبقات التربة الثلاث

التالية :





## خواص واختبارات التربة

### إجهاد التربة الرأسية

إجهاد التربة الرأسية

١

### الجدارة:

معرفة الضغوط الرأسية التي تولدها التربة نتيجة أوزانها والأحمال الحية التي تتعرض لها، وكيفية حساب هذه الضغوط عند عمق معين من التربة.

### الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على:

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

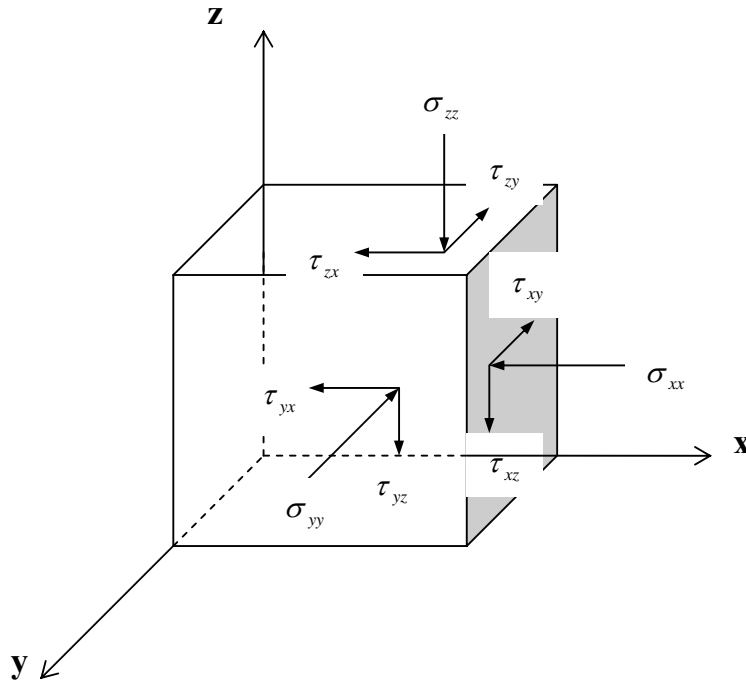
**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة ٩٠٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** أربع ساعات

## مقدمة Introduction:

يعرف الإجهاد أو الضغط بأنه مقدار الحمل الذي تتعرض له وحدة المساحة، ويقاس بوحدة: القوة/المساحة، مثل  $N/m^2$ . والتربة 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 أو أوزان التربة نفسها. وهذه الأحمال ينتج عنها انفعالاً للتربة قد يصل إلى مرحلة الانهيار.

ولمعرفة الإجهادات التي تتعرض لها التربة، يمكن تأمل عنصر من التربة عند نقطة معينة تحت سطح الأرض، وعلى افتراض أن ذلك العنصر على شكل مكعب وموضح عليه الإجهادات كما في الشكل (1.6)، فإن كل وجه من أوجه المكعب معرضة إلى ضغط رأسي ( $\sigma$ ) normal stress مع قوتي قص ( $\tau$ ) shear stresses.



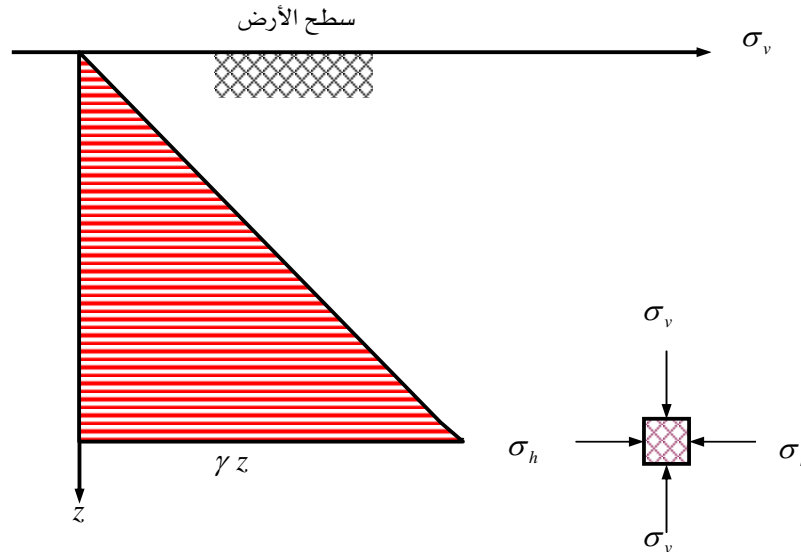
شكل (1.6): إجهادات التربة في شكل ثلاثي الأبعاد

## ٢,٦ الإجهادات الناجمة عن وزن التربة Stresses induced by the self weight of the soil

تعد معرفة الإجهادات التي تتعرض لها التربة نتيجة وزنها 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  $\sigma_v$  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:

$$\sigma_v = \gamma z \quad (1.6)$$

حيث  $\gamma$  هي وحدة وزن التربة و  $z$  هو العمق الذي عنده يتم تحديد إجهاد التربة. وهذه 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 (٢,٦)، ويصاحب كل إجهاد رأسي وجود إجهاد أفقي  $\sigma_h$  عند أي نقطة تحت سطح الأرض.



شكل (2.6): 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:

$$\sigma_v = \sum \gamma \Delta z \quad (2.6)$$

وتكون التربة مشبعة في ظل وجود المياه الجوفية التي تولد ضغط مائي عند العمق  $z_w$  وذلك وفق المعادلة التالية:

$$u = \gamma_w z_w \quad (3.6)$$

حيث  $u$  يرمز لضغط الماء بينما  $\gamma_w$  تعني وحدة وزن الماء ولها القيمة  $9.81 \text{ kN/m}^3$ .

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 الرأسى المؤثر. وبمعرفة إجمالي إجهاد التربة الرأسى وضغط الماء، يمكن تحديد الإجهاد الرأسى المؤثر على حبيبات التربة  $\bar{\sigma}_v$  بطرح ضغط الماء من إجمالي إجهاد التربة الرأسى وذلك حسب المعادلة:

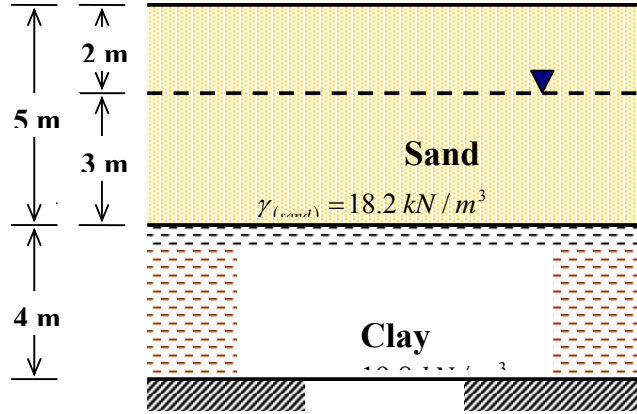
$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v - u \quad (4.6)$$

وبالتالى فإن تغير منسوب المياه تحت سطح الأرض سوف يؤدي إلى تغير الإجهاد الرأسى المؤثر للتربة.



مثال (١,٦):

أوجد الإجهاد الرأسية الإجمالي وضغط الماء والإجهاد الرأسية المؤثر في منتصف الطبقة الطينية الموضحة في الشكل (٣,٦)، موضحاً إجابتك بالرسم. لاحظ أن التربة التي فوق منسوب المياه الجوفية تبقى مشبعة بسبب الخاصية الشعرية.



شكل (3.6): رسم توضيحي للمثال (1.6)

الحل:

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

■ إجهاد التربة الرأسية:  $\sigma_v = 2 \times 18.2 = 36.40 \text{ kN/m}^2$

■ ضغط الماء:  $u = 0$

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

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

■ إجهاد التربة الرأسية:  $\sigma_v = 36.40 + 3 \times 18.20 = 91.00 \text{ kN/m}^2$

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

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

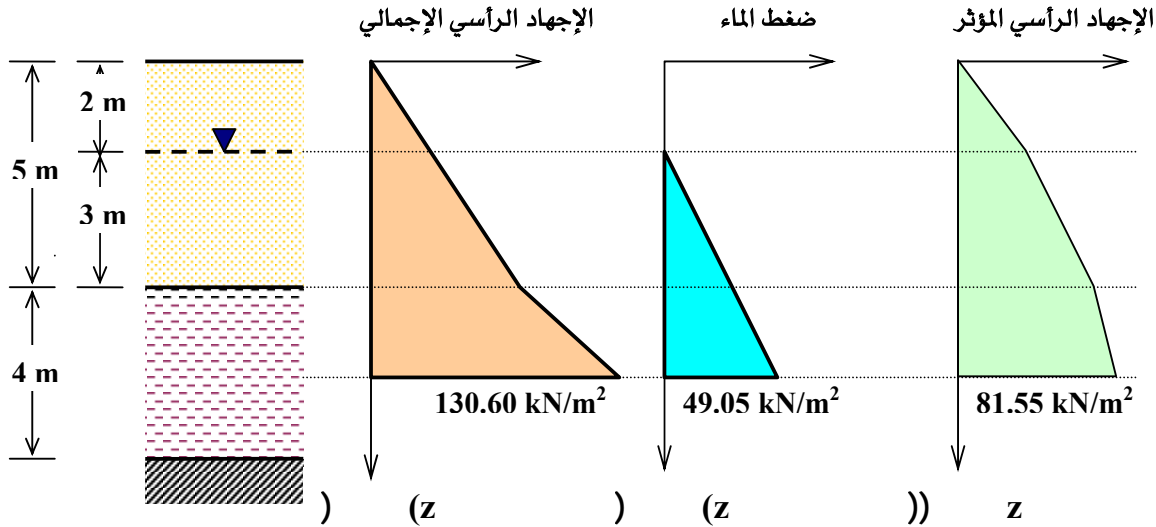
في منتصف الطبقة الطينية ( $z = 7.0 \text{ m}$ ):

■ إجهاد التربة الرأسية:  $\sigma_v = 91.00 + 2 \times 19.80 = 130.60 \text{ kN/m}^2$

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

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

أما رسم الإجهاد الرأسية الإجمالي إجهاد الماء والإجهاد المؤثر فيوضحه الشكل (4.6).



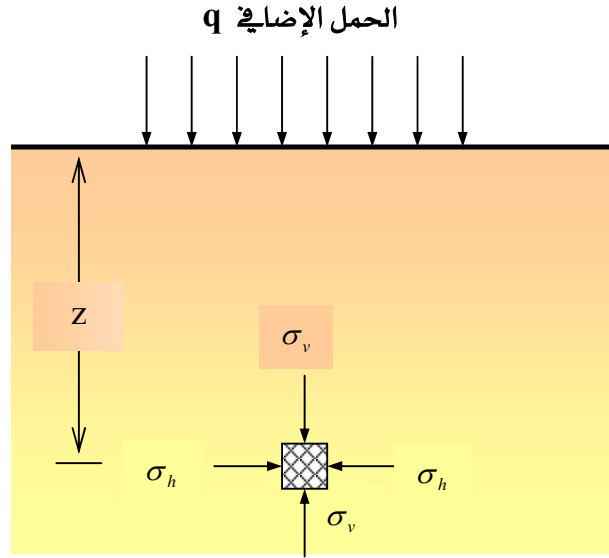
شكل (4.6): رسم توضيحي لنتائج المثال (1.6)

### ٣,٦ الإجهاد الكلي الناتج عن أحمال إضافية على السطح Total stress with a surface surcharge load

إن الحمل الإضافي 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 الإضافي واسعاً جداً فإن إجهاد التربة الرأسية يمكن اعتباره ثابت بقيمة مكافئة لمقدار الحمل الإضافي.

يبين الشكل (5.6) الحمل الإضافي على سطح الأرض والذي يمثل بالرمز  $q$ ، وفي هذه الحالة فإن إجمالي إجهاد التربة الرأسية يتم تحديده من العلاقة:

$$\sigma_v = \gamma z + q \quad (5.6)$$



شكل (5.6): الحمل الإضافي على سطح الأرض

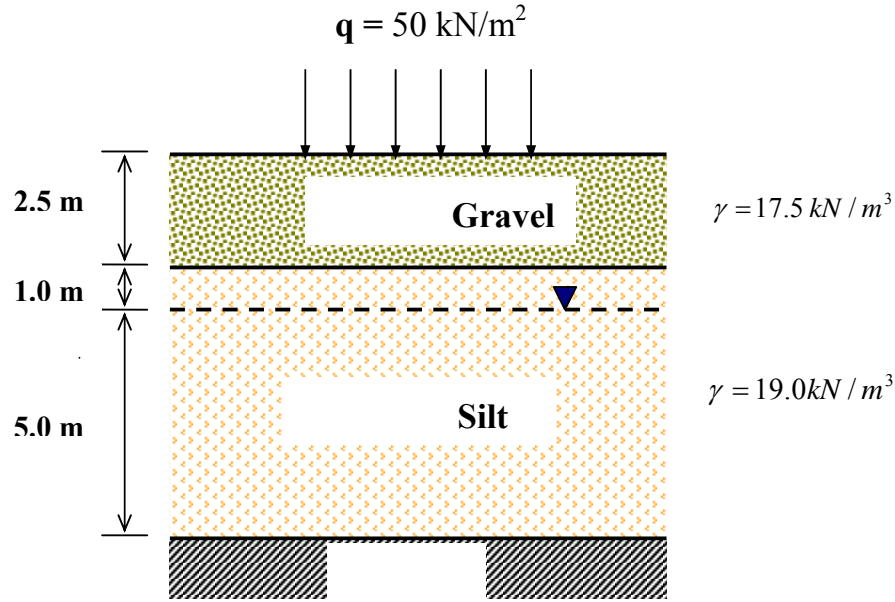
مثال (٢,٦):

أوجد الإجهاد الرأسية المؤثر في أسفل طبقة الطمي الموضحة في الشكل (6.6)، إذا علمت أن الحمل الإضافي على سطح الأرض مقداره  $50 \text{ kN/m}^2$ .

الحل:

عند أسفل طبقة الطمي ( $z = 8.5 \text{ m}$ )، فإنه يمكن إيجاد الإجهاد الرأسية المؤثر وذلك بتطبيق المعادلتين (٤,٦) و (٥,٦) 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 (6.6): رسم توضيحي للمثال (2.6)

#### ٤,٦ إجهادات التربة الناجمة عن ضغط الأساسات Stresses in soil due to footing pressure

يوجد عدة طرق تستخدم في تحديد الزيادة في إجهاد التربة الرأسية، على عمق معين من التربة، تحت المساحة المعرضة للحمل. ومن أقدم وأسهل الطرق المستخدمة طريقة ميل 2:1 والتي يمكن استخدامها في إيجاد الإجهاد الناجم عن ضغط الأساسات كما يوضحها الشكل (٧,٦). إن الزيادة في الضغط على التربة نتيجة وجود أساس المنشأة  $\Delta q$  تمثل إجهاد رأسي للتربة والذي يمكن تحديده من العلاقة:

$$\Delta q = \frac{Q}{(L+z)(B+z)} \quad (6.6)$$

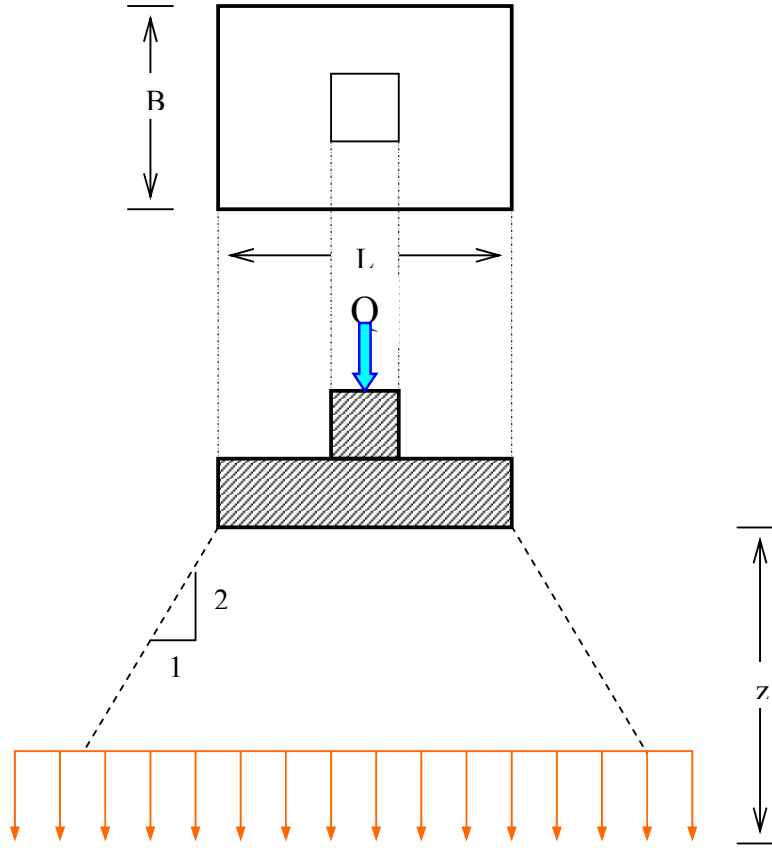
حيث:

$Q$  = حمل العمود على الأساس

$L$  = طول الأساس

$B$  = عرض الأساس

$z$  = العمق المطلوب لتحديد الزيادة في الإجهاد الرأسية للتربة



شكل (7.6): طريقة ميل 2:1 لإيجاد الإجهاد الناتج عن ضغط الأساسات

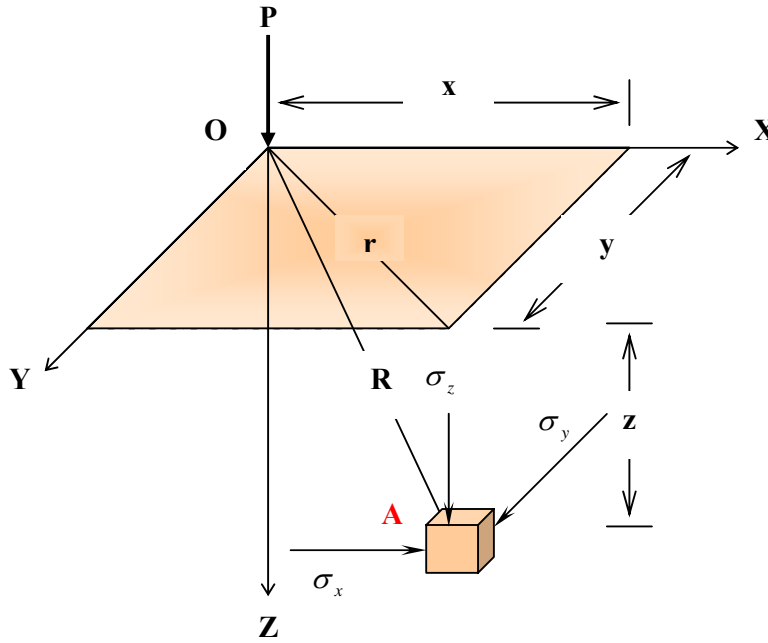
أما إذا كان أساس المنشأة يأخذ الشكل المربع فإن المعادلة (6.6) يمكن تبسيطها في الصيغة:

$$\Delta q = \frac{Q}{(B+z)^2} \quad (7.6)$$

### ٥,٦ طريقة بوسينسك لتحديد إجهادات التربة The Boussinesq method for soil stresses

تعتمد هذه الطريقة على نظرية المرونة، وتستخدم في تحديد الإجهادات التي تتعرض لها التربة نتيجة الحمل الأحادي والمركز على سطح الأرض. وتشترط هذه الطريقة أن تكون التربة لها خواص متجانسة في جميع النقاط ومتماثلة في جميع الاتجاهات.

الشكل (8.6) يوضح مسطح أفقي بالإحداثيات  $(X, Y, Z)$  ويمثل سطح الأرض المعرضة للحمل الأحادي والرأسي  $P$  والمركز في النقطة  $O$ . والنقطة  $A$  تمثل نقطة التربة المطلوب تحديد الإجهادات عندها، ولها الإحداثيات  $(x, y, z)$  وموضح عليها الإجهادات العمودية  $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ .



شكل (8.6): طريقة بوسينسك لتحديد إجهادات التربة

وحسب طريقة بوسينسك فإن الإجهادات العمودية على نقطة التربة  $A$  هي:

$$\sigma_z = \frac{3P z^3}{2\pi R^5} \quad (8.6)$$

$$\sigma_x = \frac{P}{2\pi} \left[ \frac{3x^2 z}{R^5} - (1-2\nu) \left( \frac{x^2 - y^2}{Rr^2(R+z)} + \frac{y^2 z}{R^3 r^2} \right) \right] \quad (9.6)$$

$$\sigma_y = \frac{P}{2\pi} \left[ \frac{3y^2 z}{R^5} - (1-2\nu) \left( \frac{y^2 - x^2}{Rr^2(R+z)} + \frac{x^2 z}{R^3 r^2} \right) \right] \quad (10.6)$$

حيث:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

وجميع رموز معادلات الإجهادات السابق ذكرها موضحة في الشكل (8.6)، أما  $\nu$  فترمز لنسبة بويسن Poisson's ratio وتتراوح قيمته من صفر إلى ٠,٥ ولكنها أقرب إلى قيمتها العليا ٠,٥ لمادة التربة.

### مثال (3.6)

حمل رأسي ومركز على سطح الأرض مقداره 500 kN، باستخدام طريقة بوسينسك، أوجد الإجهادات العمودية التي تتعرض لها نقطة من التربة تبعد ٥ m من السطح ومسافة أفقية  $x = 3$  m و  $y = 3$  m، إذا علمت أن نسبة بويسن  $\nu = 0.5$ .

الحل:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$= \sqrt{3^2 + 4^2} = 5.00 \text{ m}$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$= \sqrt{3^2 + 4^2 + 5^2} = 7.07 \text{ m}$$

الإجهاد الرأسي الذي تتعرض له نقطة التربة:

$$\sigma_z = \frac{3P z^3}{2\pi R^5}$$

$$= \frac{3 \times 500}{2\pi} \left( \frac{5^3}{(7.07)^2} \right) = 1.69 \text{ kN/m}^2$$

حيث أن نسبة بويسن  $\nu = 0.5$  فإن الإجهادات الأفقية التي تتعرض لها تصبح:

$$\sigma_x = \frac{P}{2\pi} \left( \frac{3x^2 z}{R^5} \right)$$

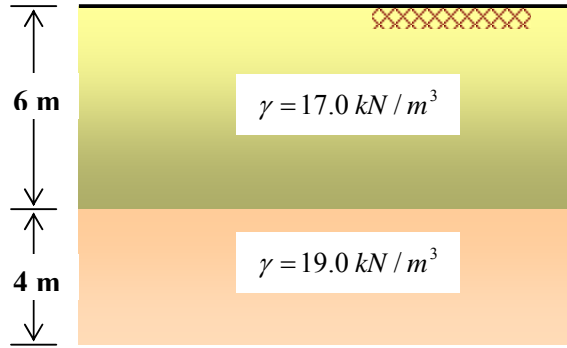
$$\sigma_x = \frac{500}{2\pi} \left( \frac{3 \times 3^2 \times 5}{(7.07)^5} \right) = 0.61 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_y = \frac{P}{2\pi} \left( \frac{3y^2 z}{R^5} \right)$$

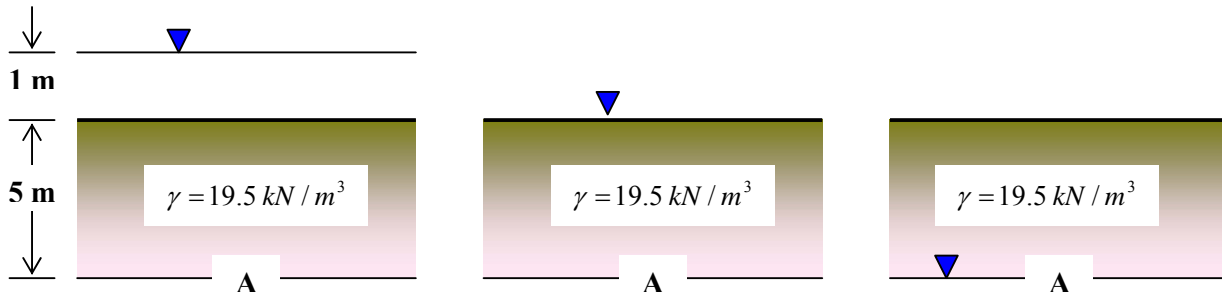
$$\sigma_y = \frac{500}{2\pi} \left( \frac{3 \times 4^2 \times 5}{(7.07)^5} \right) = 1.08 \text{ kN/m}^2$$

مسائل Problems:

١. ارسم تغير الإجهاد الرأسي لطبقتي التربة الموضحة أدناه:



٢. طبقة التربة الموضحة أدناه تتأثر بمنسوب المياه الأرضية في ثلاث حالات. احسب الإجهاد الرأسي الإجمالي ( $\sigma_v$ ) وضغط الماء ( $u$ ) والإجهاد الرأسي المؤثر ( $\bar{\sigma}_v$ ) في أسفل الطبقة (عند النقطة A) لجميع الحالات الثلاث.

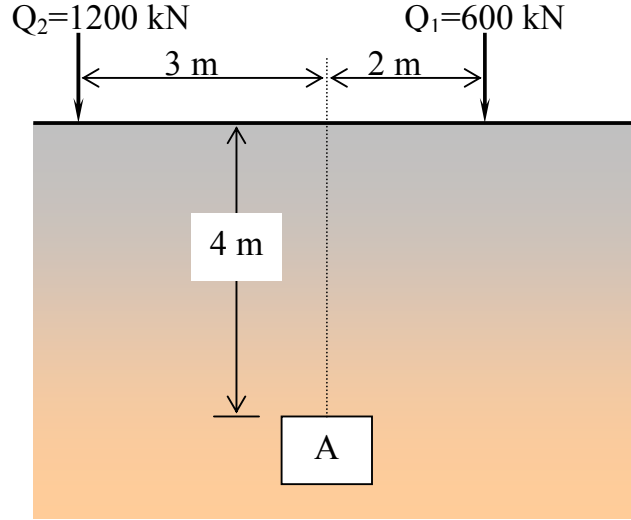


٣. حمل رأسي ومركز على سطح التربة مقداره  $500 \text{ kN}$ . باستخدام طريقة بوسينسك، أوجد الإجهاد الرأسي الذي تتعرض لها نقطة تقع تحت الحمل مباشرة وعلى عمق  $8 \text{ m}$  من السطح.

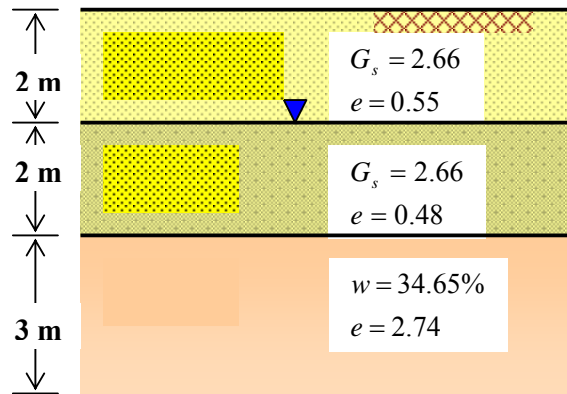
٤. قاعدة خرسانية مربعة الشكل تمتد على سطح الأرض مساحتها  $4 \text{ m}^2$  ومعرضة لحمل رأسي مقداره  $1000 \text{ kN}$ ، احسب الإجهاد الرأسي الذي يولده هذا الحمل على نقطة داخل التربة تبعد  $6 \text{ m}$  من السطح مستخدماً طريقة ميل ٢:١.



٥. احسب الإجهادات العمودية التي تتعرض لها النقطة A نتيجة الحملين  $Q_1$  و  $Q_2$  كما هو في الشكل أدناه. علماً أن المسافة الأفقية  $y = 0$  ونسبة بويسن  $\nu = 0.5$ .



٦. ارسم مع العمق كل من تغير الإجهاد الرأسي وضغط الماء والإجهاد الرأسي المؤثر لطبقات التربة الموضحة أدناه:





## خواص واختبارات التربة

### ضغط التربة الجانبي

ضغط التربة الجانبي

٧

### الجدارة:

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

### الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون الطالب 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 الطالب لهذا الفصل بنسبة ٩٠٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل:** خمس ساعات

## ١,٧ مقدمة Introduction:

تعد الجدران أو الحوائط الساندة من العناصر الإنشائية التي تحتاجها بعض مشاريع التشييد مثل الطرق والأقبية والميول 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 لها الجدران الساندة أو الحواجز الترابية وهذه الضغوط هي:

(١) الضغط في حالة الراحة Earth pressure at rest

(٢) الضغط الإيجابي Active earth pressure

(٣) الضغط السلبي Passive earth pressure

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

## ٢,٧ الضغط في حالة الراحة Earth pressure at rest:

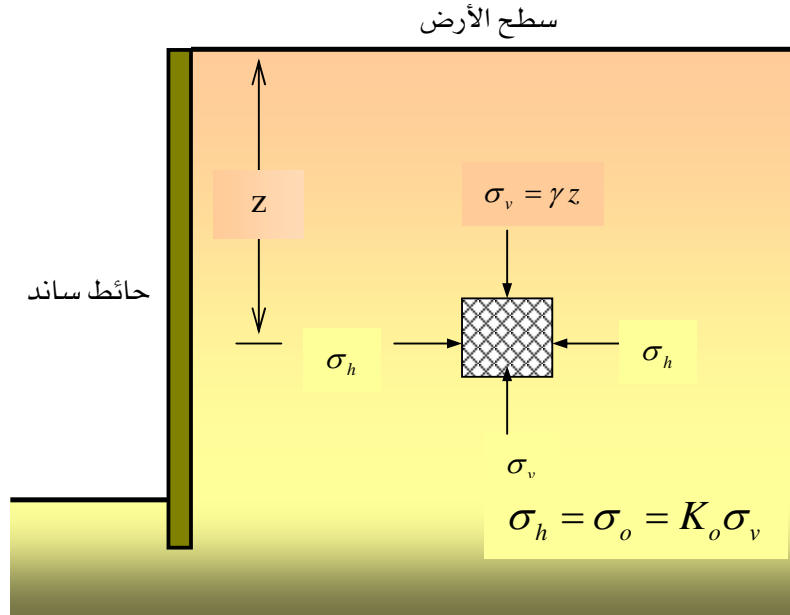
الشكل (1.7) يبين كتلة من التربة خلف جدار ساند وتقع على عمق  $z$  من سطح التربة ومعرضة للضغط الراسي  $\sigma_v$  نتيجة وزن التربة والضغط الجانبي  $\sigma_h$ . وفي حالة ضغط الراحة يكون الجدار الساند ممنوعاً من الحركة سواءً كان في الاتجاه الخارجي أو في اتجاه التربة. وتحسب قيمة ضغط التربة الجانبي في حالة الراحة  $\sigma_o$  كنسبة من الضغط الراسي المعلوم كما تبينها العلاقة:

$$\sigma_o = K_o \sigma_v \quad (1.7)$$

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 ويمكن استنتاجه من العلاقة:

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (2.7)$$

و  $\phi$  هي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.



الشكل (1.7): ضغط التربة الجانبي في حالة الراحة

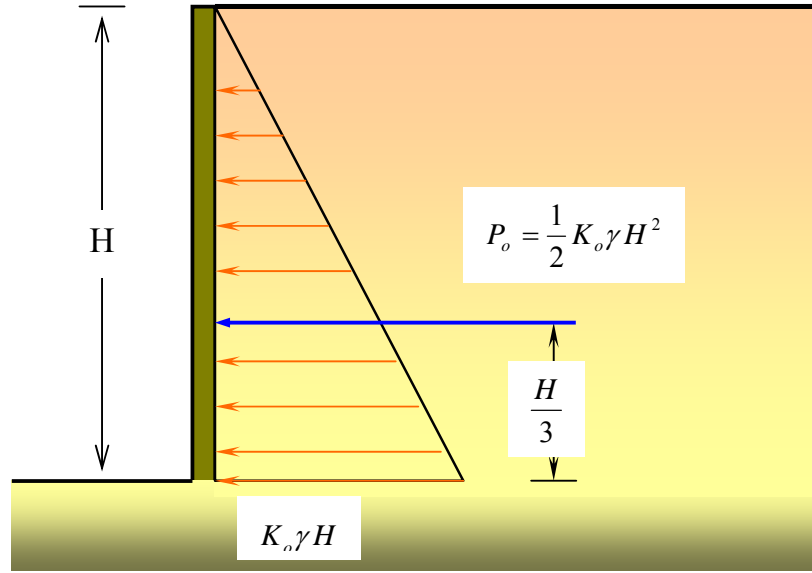
إن توزيع ضغط التربة الجانبي خلف الجدران الساندة أو الحواجز الترابية، في حالة الراحة وبارتفاع الجدار  $H$ ، يمثلها الشكل (2.7). حيث أن مساحة شكل توزيع الضغط الجانبي تساوي قوة الضغط  $P_o$  والموضحة في العلاقة:

$$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 \quad (3.7)$$

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

### ٣,٧ 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 التربة بشكل أفقى خلف الحائط.



الشكل رقم (2.7): توزيع ضغط التربة الجانبي في حالة الراحة

### ١,٣,٧ الضغط الإيجابى Active pressure

يعرف الضغط الإيجابى للتربة بأنه الضغط المؤثر على الجدار الساند والمؤدى إلى إزاحة بسيطة له في اتجاه الخارج ومبتعداً عن التربة ويحصل في هذه الحالة نقص في إجهادات التربة. والشكل (3.7) يمثل ضغط التربة الإيجابى  $\sigma_a$  والذي يمكن تحديده رياضياً بالعلاقة:

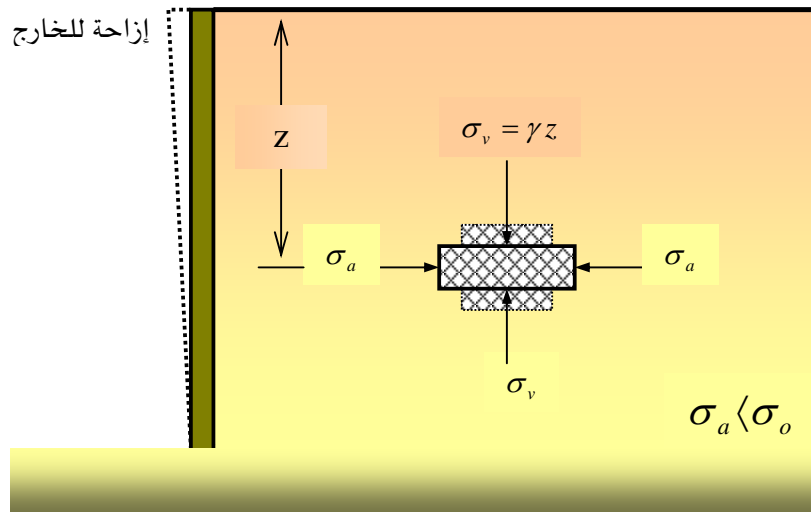
$$\sigma_a = K_a \sigma_v - 2c\sqrt{K_a} \quad (4.7)$$

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

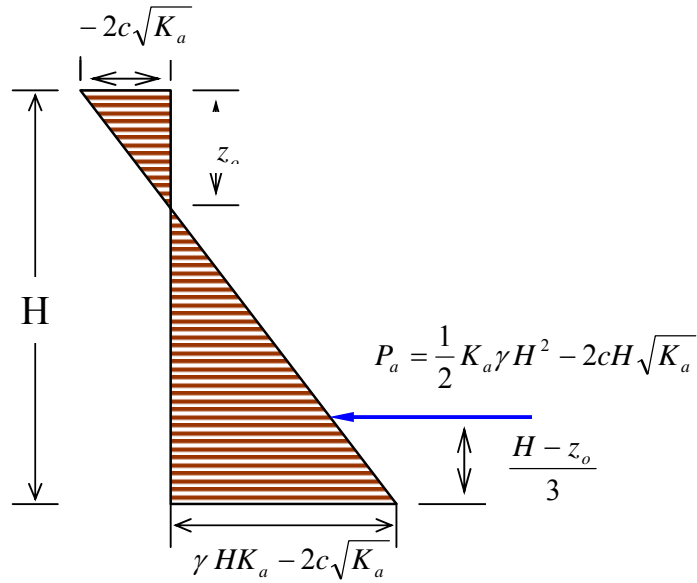
$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (5.7)$$

وتكون محصلة الضغط الإيجابي  $P_a$ ، وحسب الشكل (4.7)، كالآتي:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2cH\sqrt{K_a} \quad (6.7)$$



الشكل (3.7): ضغط التربة الإيجابي



الشكل (4.7): 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:

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

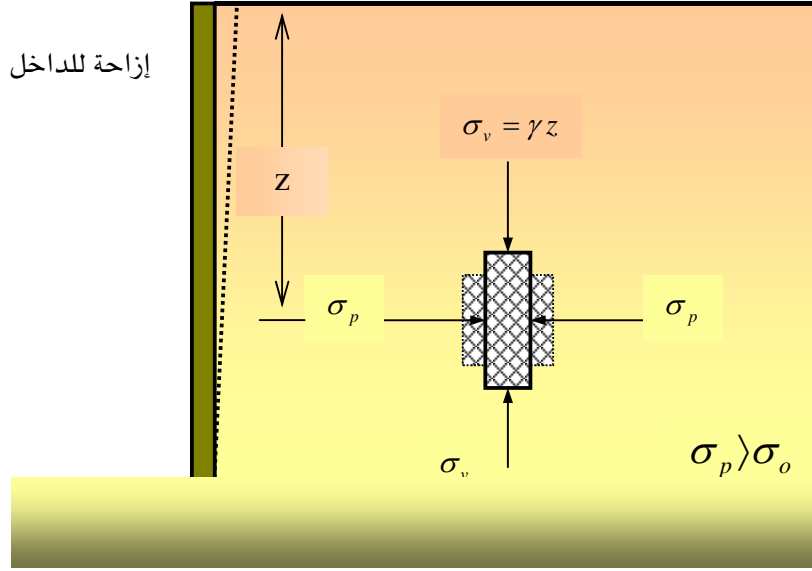
وعندما تكون زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة مساوية للصفر  $\phi = 0$  فإن عمق الشد يأخذ العلاقة التالية:

$$z_o = \frac{2c}{\gamma} \quad (8.7)$$

### ٢,٣,٧ الضغط السلبي Passive pressure:

يعد الضغط السلبي حالة عكسية للضغط الإيجابي حيث يؤدي الضغط المؤثر على الجدار الساند إلى إزاحة تدريجية في اتجاه التربة وتزيد بذلك إجهادات التربة. والشكل (5.7) يمثل ضغط التربة السلبي  $\sigma_p$  والذي يمكن تحديده بالعلاقة:





الشكل (5.7): ضغط التربة السليبي

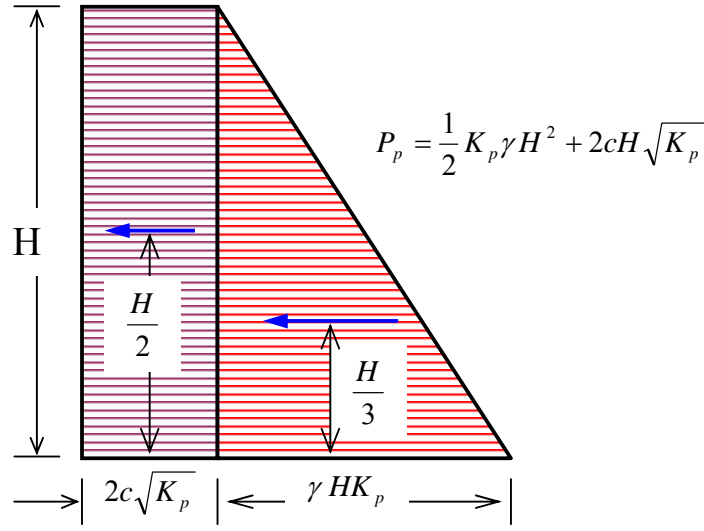
$$\sigma_p = K_p \sigma_v + 2c\sqrt{K_p} \quad (9.7)$$

حيث  $K_p$  هو معامل الضغط السليبي ويحدد بالمعادلة:

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (10.7)$$

وتكون محصلة الضغط السليبي  $P_p$  ، وحسب الشكل (6.7) ، كما يلي:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2cH\sqrt{K_p} \quad (11.7)$$



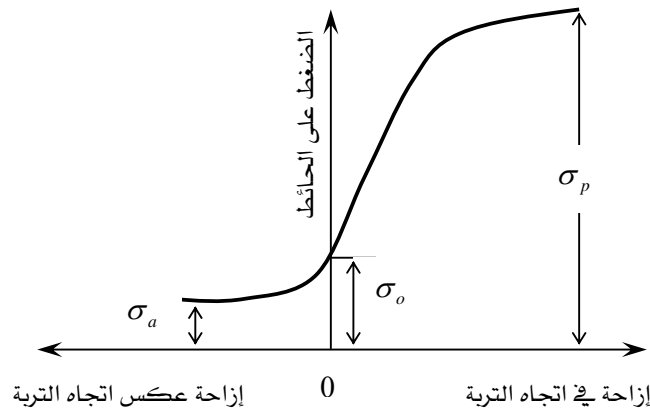
يظهر الضغط السلبى بقيمة أعلى من الضغط الإيجابى وإلا انهارت التربة بفعل إجهادات القص، ويبين ذلك الفرق بين قيم معامل الضغط الإيجابى ومعامل الضغط السلبى عند زاوية احتكاك واحدة، كما يوضحها الجدول (1.7). وتوقع قيم ضغط التربة عند الراحة بين الضغط الإيجابى والضغط السلبى مع التباين الواضح في القيم كما يبينها الشكل (7.7).

مثال (1.7):

جدار استنادى أملس تم إنشاؤه لإسناد تربة رملية تمتد بسطح أفقى وموضح في الشكل (8.7). أوجد محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة وعين نقطة تأثيرها.

جدول (1.7): قيم  $K_p$  و  $K_a$  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

الحل:

معامل الضغط عند الراحة:

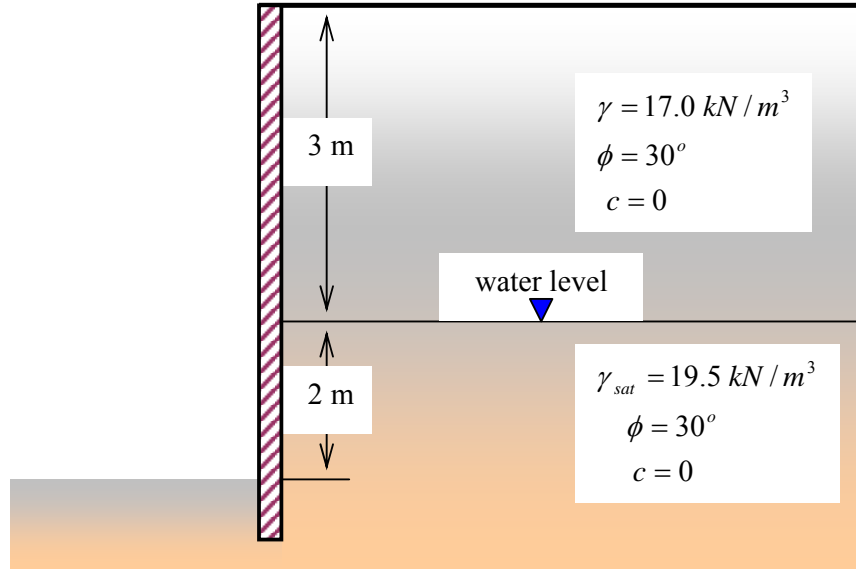
$$K_o = 1 - \sin \phi$$

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

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

$$\sigma_o = K_o \sigma_v$$

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



الشكل (8.7): رسم توضيحي للمثال (1.7)

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

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

ضغط الماء خلال الطبقة السفلية:

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

ويمكن تمثيل قيم الضغط الجانبي للتربة وضغط الماء في الشكل (9.7).

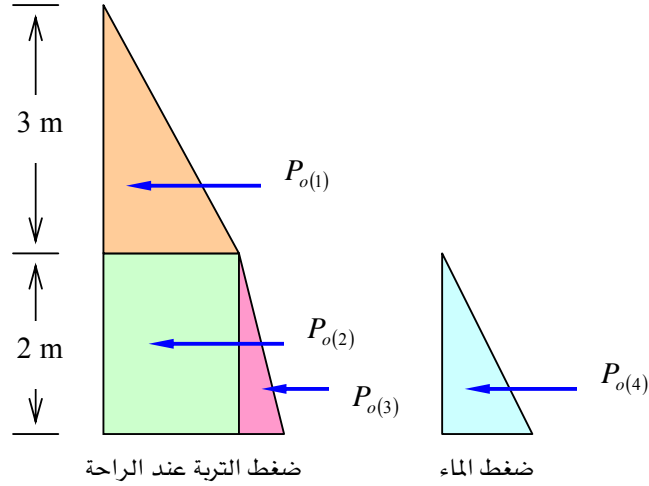
وتحسب مساحة كل شكل لإيجاد القوى لكل متر طولي من الحائط الساند وذلك على النحو التالي:

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

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

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

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



الشكل (9.7): مخطط ضغوط الماء والتربة في المثال (1.7)

محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة:

$$\begin{aligned} P_o &= P_{o(1)} + P_{o(2)} + P_{o(3)} + P_{o(4)} \\ &= 38.25 + 51.00 + 9.69 + 19.62 = 118.56 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

لتحديد نقطة تأثير المحصلة من أسفل المحصلة (h):

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

### ٣.٣.٧ ميلان سطح التربة Soil surface sloping:

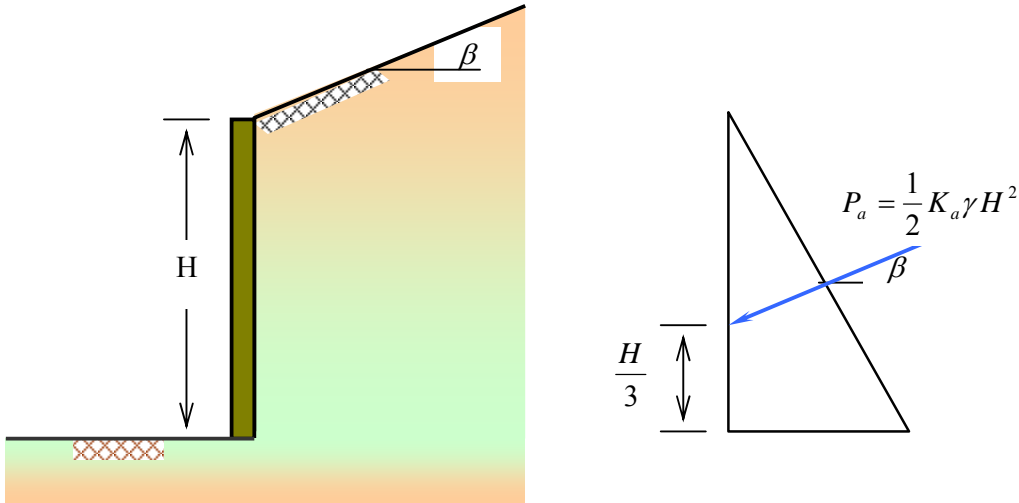
عندما يميل سطح التربة التي خلف الحائط الساند فإن ذلك يؤثر على حساب الضغط الإيجابي. وهذه الحالة موضحة في الشكل (10.7)، حيث يميل سطح التربة بزاوية  $\beta$  وبالتالي فإن اتجاه الضغط على الحائط يكون موازياً لسطح التربة المائل ويتم تحديد محصلة هذا الضغط بالمعادلة:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (12.7)$$

حيث يتم استنتاج قيمة معامل الضغط الإيجابي من الصيغة:

$$K_a = \cos \beta \cdot \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (13.7)$$

ونقطة تأثير المحصلة على مسافة ثلث ارتفاع الحائط من أسفله.



الشكل (10.7): الضغط الإيجابي في حالة ميلان سطح التربة

وفي حالة ضغط التربة السلبي فإن الاختلاف يكمن في قيمة المعامل:

$$K_p = \cos \beta \cdot \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (14.7)$$

مثال (2.7):

جدار رأسي وأملس ارتفاعه 5.5 m يسند تربة رملية لها الخواص:

$$\phi = 35^\circ$$

$$c = 0$$

$$\gamma = 17. \text{ kN} / \text{m}^2$$

بافتراض أن سطح التربة يمتد أفقياً ، احسب محصلة كل من الضغط الإيجابي والسلبي ونقطة تأثير كل منهما.

بافتراض أن سطح التربة يميل بزاوية  $\beta = 10^\circ$  ، احسب محصلة الضغط الإيجابي ونقطة تأثيرها.

الحل:

(أ) حالة امتداد سطح التربة أفقياً:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 35}{1 + \sin 35} = 0.271$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} = 3.690$$

محصلة الضغط الإيجابي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = \frac{1}{2} \times 0.271 \times 17 \times (5.5)^2 = 69.68 \text{ kN} / \text{m}$$

محصلة الضغط السلبي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 = \frac{1}{2} \times 3.690 \times 17 \times (5.5)^2 = 948.80 \text{ kN} / \text{m}$$

نقطة تأثير كلا المحصلتين تقع على ارتفاع  $\frac{H}{3} = 1.83 \text{ m}$  من قاعدة الجدار الساند.

(ب) حالة امتداد سطح التربة خلف الحائط بزاوية  $\beta = 10^\circ$  :

$$K_a = \cos \beta \cdot \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} = \cos 10^\circ \times \frac{\cos 10^\circ - \sqrt{\cos^2 10^\circ - \cos^2 35^\circ}}{\cos 10^\circ + \sqrt{\cos^2 10^\circ - \cos^2 35^\circ}} = 0.282$$

محصلة الضغط الإيجابي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = \frac{1}{2} \times 0.282 \times 17 \times (5.5)^2 = 72.51 \text{ kN / m}$$

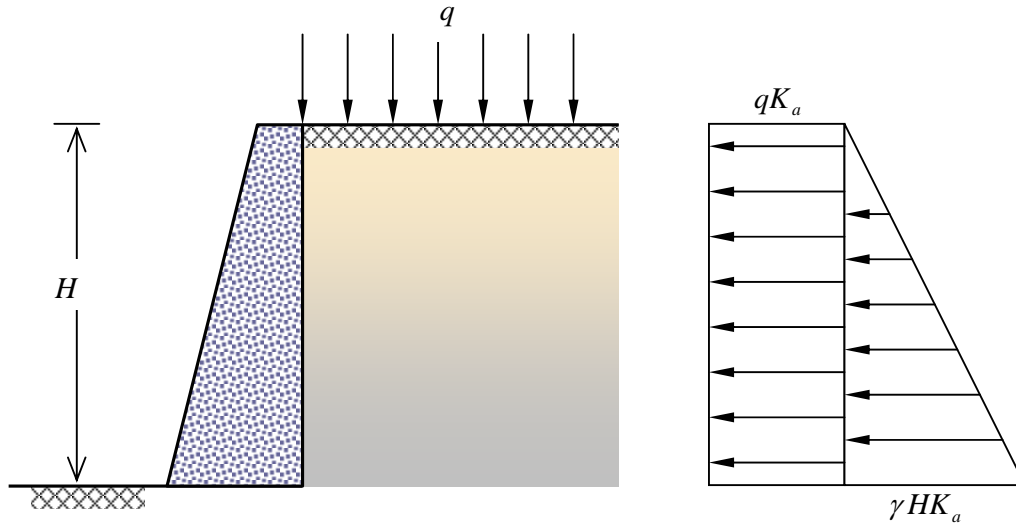
نقطة تأثير محصلة الضغط الإيجابي تقع على ارتفاع  $\frac{H}{3} = 1.83 \text{ m}$  من قاعدة الجدار الساند.

#### ٤.٣.٧ الأحمال الحية Surcharges:

يمكن أن تتعرض التربة التي خلف الحوائط الساندة إلى أحمال حية تكون منفردة أو خطية أو منتظمة التوزيع. والشكل (11.7) يوضح جدار ساند معرض لحمل منتظم  $q$  ، وبالتالي فإن الإجهاد الرأسى عند أي عمق  $z$  هو:

$$\sigma_v = q + \gamma z \quad (15.7)$$





الشكل (11.7): ضغط التربة الإيجابي في حالة وجود الأحمال الحية

أما الضغط الإيجابي للتربة فيأخذ الصيغة:

$$\sigma_a = (q + \gamma z) \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = (q + \gamma z) K_a \quad (16.7)$$

وتكون محصلة الضغط الإيجابي التي يتعرض لها الجدار الساند الذي ارتفاعه  $H$ :

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a + qHK_a \quad (17.7)$$

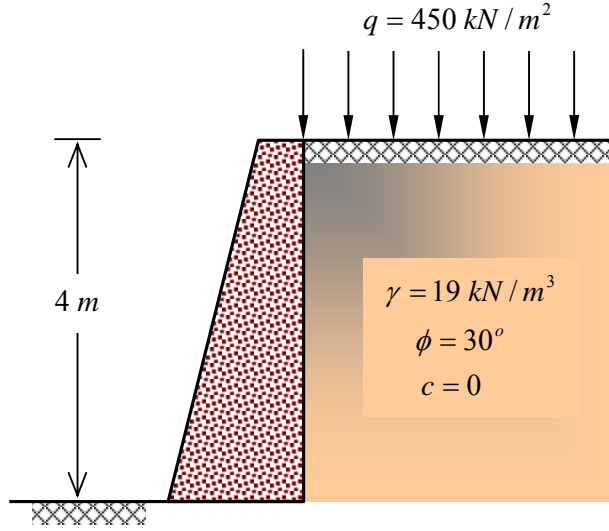
وكما هو ملاحظ في الشكل (11.7) فإن الضغط الجانبي الناتج عن الأحمال الحية يأخذ التوزيع المنتظم ولا يتغير مع عمق التربة. وبطريقة مماثلة للضغط الإيجابي، فإن محصلة الضغط المؤثر على الجدار الساند في حالة الضغط السلبي للتربة هي:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + qHK_p \quad (18.7)$$

حيث  $H$  عمق منطقة الضغط السلبي و  $q$  الحمل الحي المؤثر على المنطقة نفسها.

مثال (3.7):

معطى الجدار الساند الموضح في الشكل (12.7)، والمطلوب تحديد محصلة الضغط الإيجابي وموقع نقطة تأثيرها.



الشكل (12.7): رسم توضيحي للمثال (3.7)

الحل:

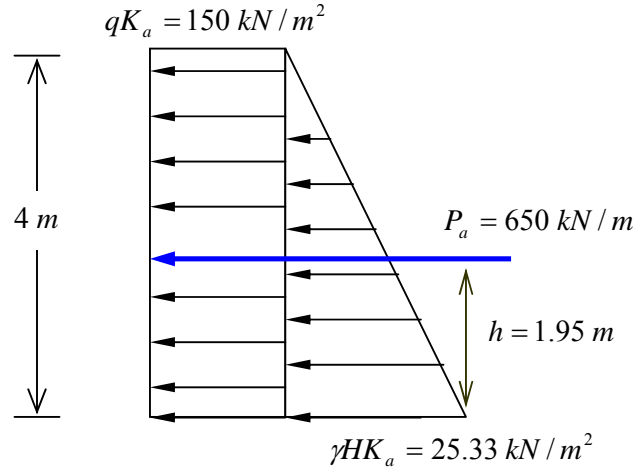
معامل الضغط الإيجابي:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} = 0.333$$

محصلة الضغط الإيجابي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a + q H K_a = \frac{1}{2} \times 19 \times 4^2 \times 0.333 + 450 \times 4 \times 0.333 = 650 \text{ kN / m}$$

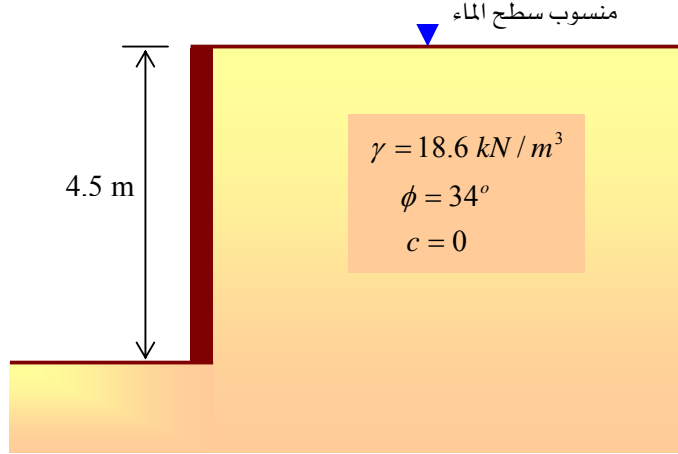
لتحديد نقطة تأثير المحصلة  $h$  يلزم رسم مخطط لتوزيع الضغط كما هو موضح أدناه:



$$h = \frac{150 \times 4 \times \frac{4}{2} + \frac{1}{2} \times 25.33 \times 4 \times \frac{4}{3}}{650} = 1.95 \text{ m}$$

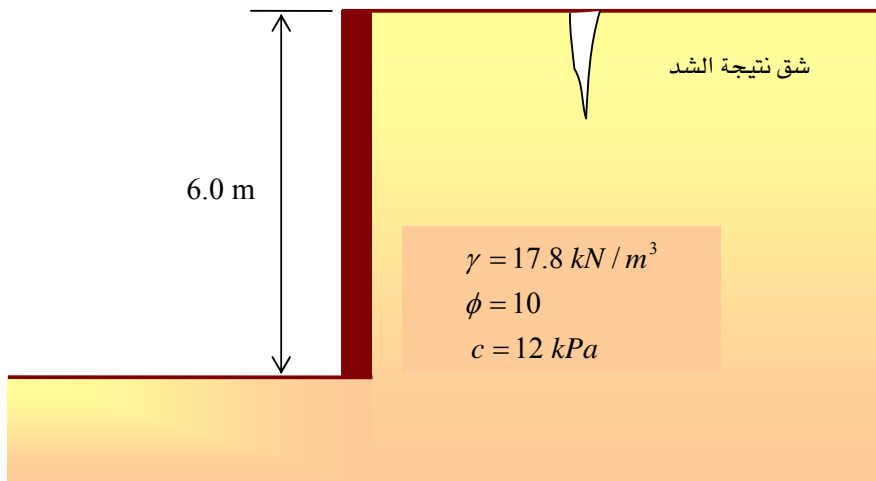
### مسائل Problems:

١. جدار استنادي رأسي ارتفاعه 4.5 m تم إنشاؤه لإسناد تربة رملية تمتد بسطح أفقي حسب الشكل أدناه. أوجد محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة وعين نقطة تأثيرها.

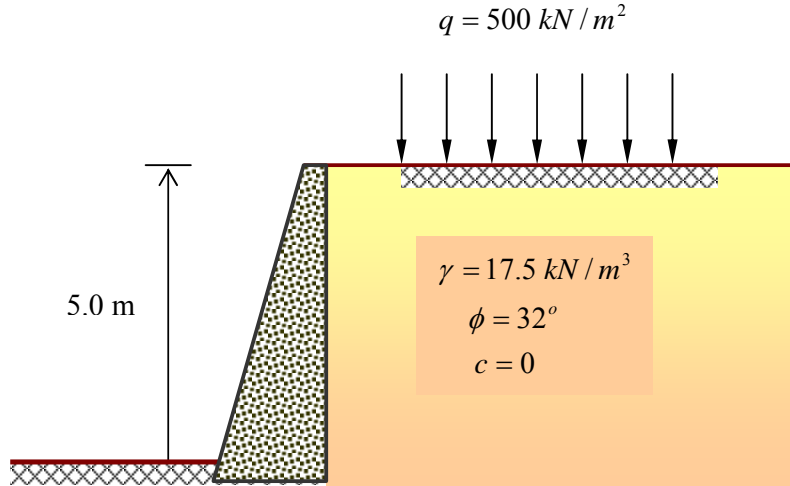


٢. جدار استنادي رأسي ارتفاعه 6.0 m تم إنشاؤه لإسناد تربة طينية تمتد بسطح أفقي حسب الشكل الموضح أدناه.

- احسب الضغط الجانبي الإيجابي في أعلى وأسفل الجدار الساند.
- احسب عمق الشق (الشدة) في التربة الطينية



٣. جدار استنادي موضح في الشكل أدناه. احسب محصلة الضغط الجانبي السلمي وموقع نقطة تأثيرها.



٤. احسب القوى الإيجابية والسلبية على جدار ساند لتربة رملية وأعطيت لها المعلومات التالية:

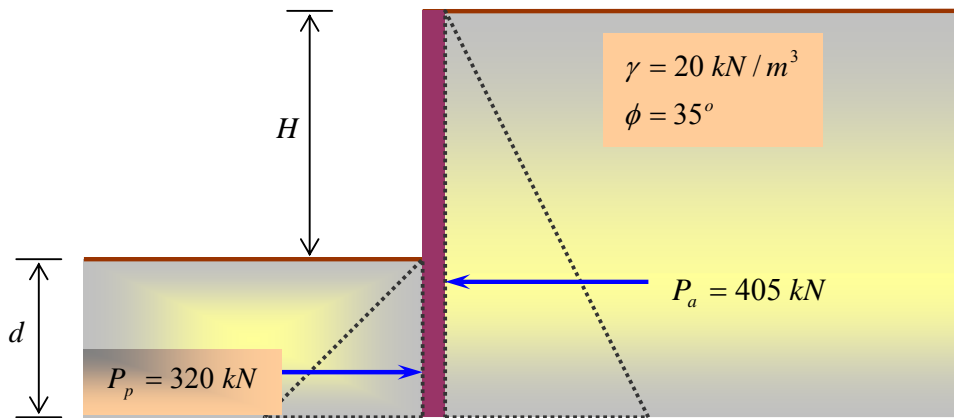
$$H = 4.5 \text{ m}$$

$$\gamma = 18.0 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\phi = 34^\circ$$

$$\beta = 10^\circ$$

٥. احسب كل من  $H$  و  $d$  للجدار الساند الموضح أدناه إذا كان  $P_a = 405 \text{ kN}$  و  $P_p = 320 \text{ kN}$





## خواص واختبارات التربة

### تحريرات التربة

تحريرات التربة

٨

**الجدارة:**

معرفة الأعمال الرئيسية المرتبطة بتحريرات التربة سواءً كانت مكتبية أو معملية أو حقلية.

**الأهداف:**

بنهاية هذا الفصل يكون الطالب لديه القدرة على:

- معرفة المراحل الرئيسية والمتبعة في برنامج تحريات التربة.
- اختيار الطريقة المناسبة لتجري التربة بحسب نوعها وسمك طبقاتها ونوع المشروع.
- تحديد نوع عينة التربة المطلوبة والطرق والأدوات المستخدمة في استخراجها.
- قراءة بيانات تحريات التربة وتحليلها وتمثيلها بيانياً.
- كتابة التقرير الفني للتربة بالطريقة الهندسية المتبعة.
- الإشراف على أعمال تحريات التربة في الحقل.
- تقديم المعلومات الفنية التي يحتاجها مهندس المشروع.

**مستوى الأداء المطلوب:** إتقان الطالب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٨٥٪.

**الوقت المتوقع لإنهاء الفصل: ست ساعات**

**العوامل المساعدة:** من المناسب قيام عضو الهيئة التعليمية لهذا المقرر بزيارة ميدانية مع طلابه إلى أحد مشاريع التشييد الكبيرة للإطلاع على برنامج تحريات التربة للمشروع من حيث جمع المعلومات الفنية، واستخدام الأجهزة والمعدات، وكيفية استخراج العينات والاختبارات المعملية التي تجرى عليها، وكيفية كتابة التقارير الفنية.

**١,٨ 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:

١. تقييم مدى ملائمة الموقع، بصفة عامة، للمشروع المقترح.
  ٢. عمق ونوع أساسات المشروع بما يتناسب مع خصائص التربة وحجم المشروع.
  ٣. مقدار تحمل التربة للأحمال المتوقعة من المشروع.
  ٤. مقدار الهبوط المتوقع للأساسات نتيجة أحمال المشروع.
  ٥. الأضرار التي قد تحدث للمنطقة المجاورة للمشروع نتيجة الحفريات وأعمال التنفيذ الأخرى، من أجل تقييمها وإيجاد الحلول المناسبة لها.
  ٦. منسوب المياه الجوفية ومدى تأثيرها على عناصر المشروع.
  ٧. عمق ونوع الطبقة الصخرية عند ملاحظتها أثناء التجريات.
  ٨. المشاكل البيئية التي قد تحدث للمشروع.
  ٩. 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 لتجريات 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 التجريات 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).

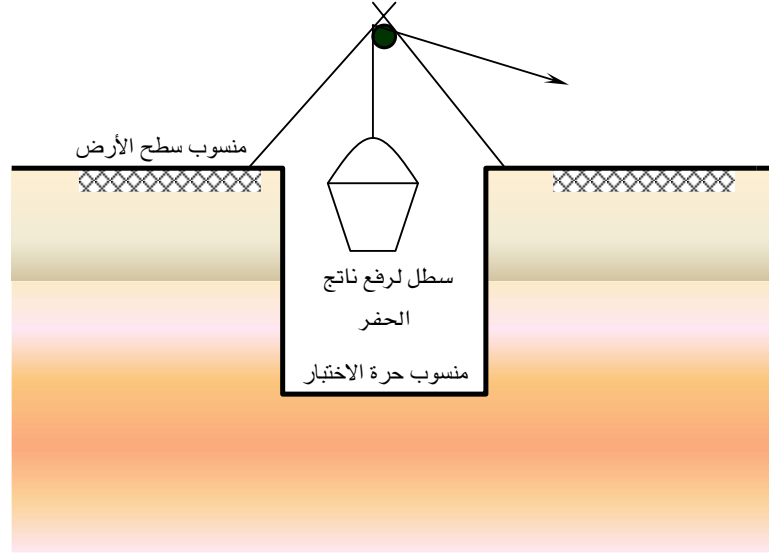
ومن حفرة الاختبار يمكن الحصول على عينة غير مفككة (غير مقلقلة) من التربة من قاع الحفرة أو من جوانبها، كما أنها طريقة دقيقة لتحديد منسوب المياه الجوفية حين ظهورها أثناء أعمال الحفر، إلا أن عمق الحفرة يعتمد على طبيعة التربة وثبات مقاطع الحفر الجانبية.

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.

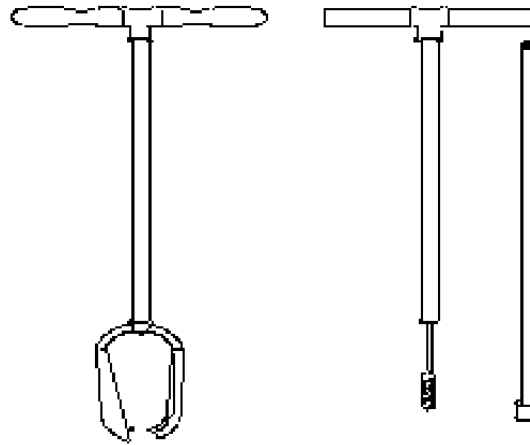
## ٢,٣,٨ جسات التربة بالمعدات الآلية:

تحتاج معظم المشاريع الهندسية إلى عمل تجريات للتربة بواسطة جسات تمتد لأعماق كبيرة، ويتطلب

ذلك استخدام المعدات الآلية والتي منها:



شكل (1.8): إحدى الطرق التقليدية لعمل حفر الاختبار

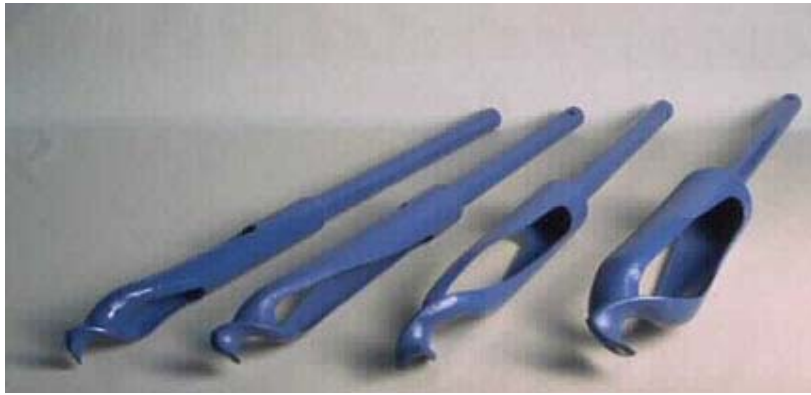
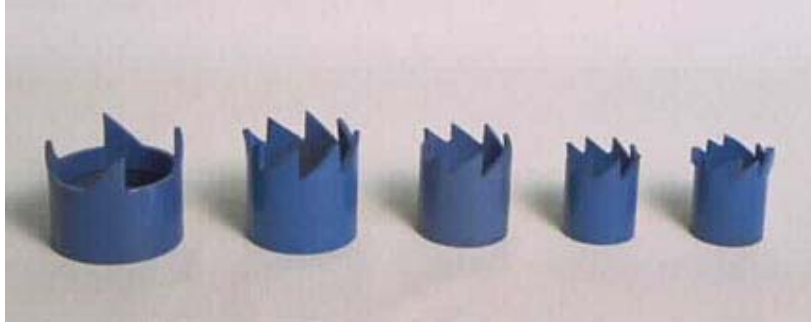


شكل (2.8): نوعان من المثاقيب اليدوية المستخدمة في الحفر

## 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.

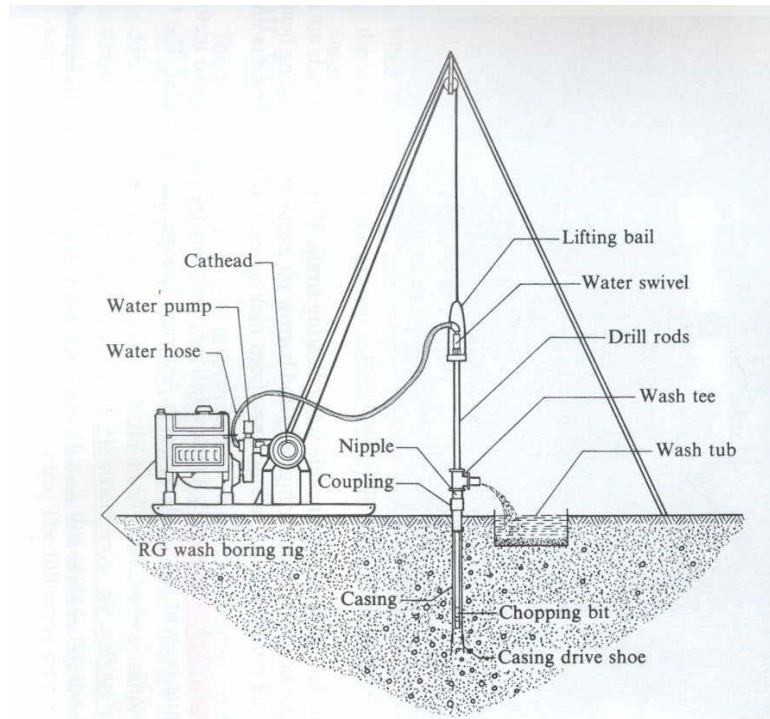


شكل (3.8): لقم الحفر بأشكال مختلفة

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 أسفل 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 تحريات 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 تحريات التربة

**٤,٨ عينات التربة Soil Sampling:**

إن من أهم أعمال تحريات 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.

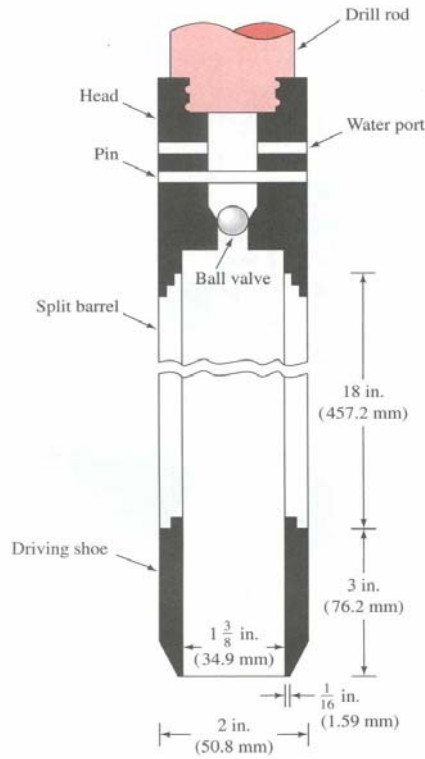
- نقل العينة بسرعة وعناية إلى مقر معمل التربة.

من المعلوم أنه لا يمكن الحصول على عينات تربة غير مقلقلة تماماً، ولكن يمكن الحصول على عينات لها حد أدنى من القلقة 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 أسطوانى. 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.



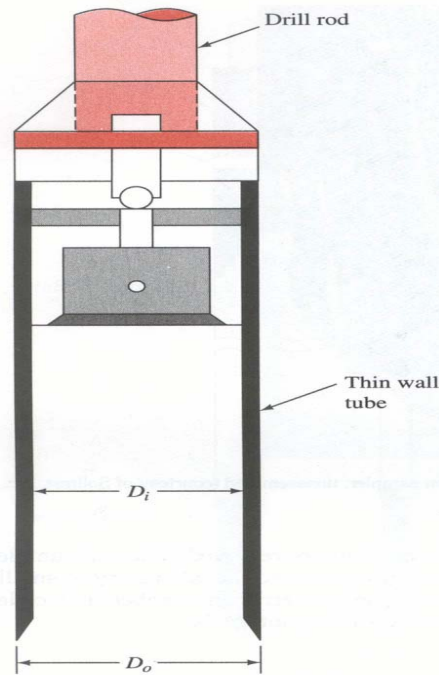


شكل (6.8): جهاز الملعقة المشطورة

(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.



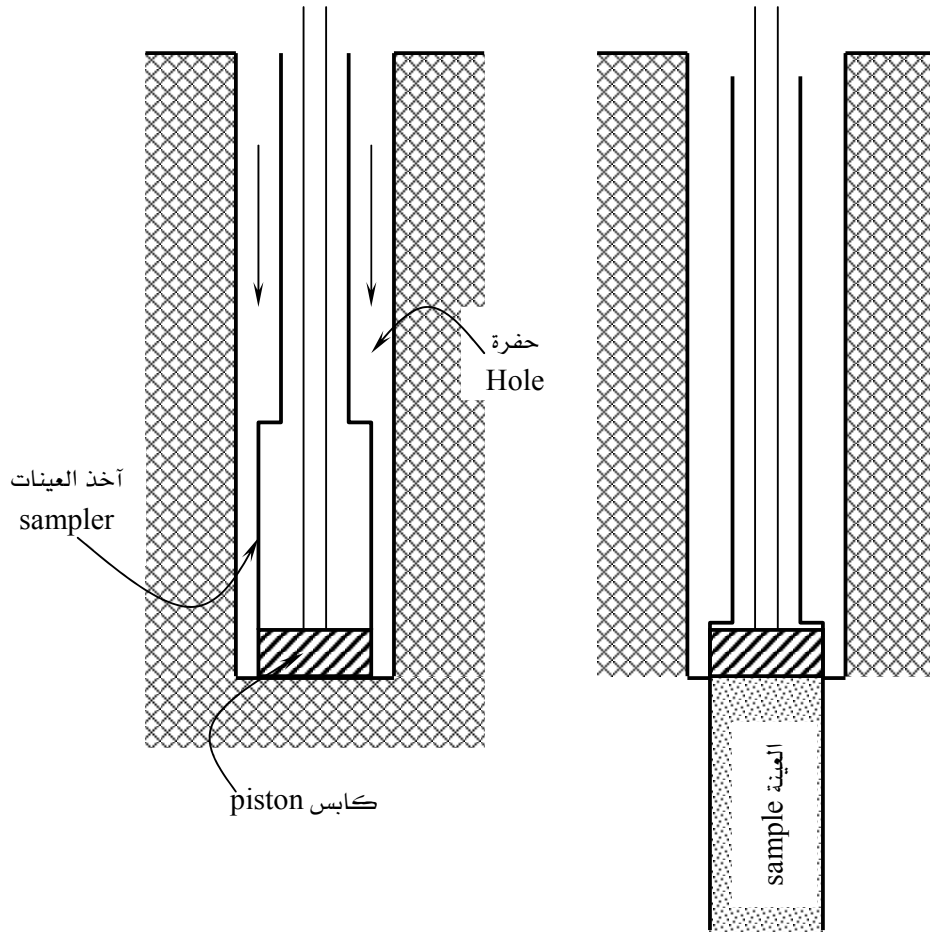
شكل (7.8): أنبوبة شلبي  
(Das, B. M. - 1993)

#### آخذ العينات الكابس Piston Sampler:

الشكل (8.8) يبين آخذ العينات الكابس، والذي يشتمل على أنبوبة رفيعة وبها الكابس المرتبط بعمود الحفر الذي يمتد إلى مكينة الحفر على سطح الأرض. ويوضع آخذ العينات في أسفل جسة الاختبار ليتم دفع الأنبوبة 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:



شكل (8.8): جهاز آخذ العينات الكابس

$$A_r = \frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100 \quad (1.8)$$

حيث:

$A_r$  = نسبة المساحة والتي تعبر عن درجة قلقلة عينة التربة

$D_o$  = القطر الخارجي لأنبوبة آخذ العينة

$D_i$  = القطر الداخلي لأنبوبة آخذ العينة

وتعد العينة غير مقلقلة إذا كانت درجة القلقله أقل من أو مساوية 10%.

مثال (1.8):

ما هي درجة القلقله لعينة من التربة تم استخراجها بواسطة أنبوية رفيعة الجدران، وحسب مواصفات هذا النوع من الأنابيب، فإن قطرها الداخلي 47.7 mm وقطرها الخارجي 50.8 mm.

الحل:

حسب مواصفات الأنبوب المستخدم في استخراج العينة، فإن درجة قلقله العينة هي:

$$A_r = \frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100$$

$$= \frac{(50.8)^2 - (47.7)^2}{(47.7)^2} = 13.42 \%$$

وهذا يعني أن هذه العينة تعد متماسكة نوعاً ما.

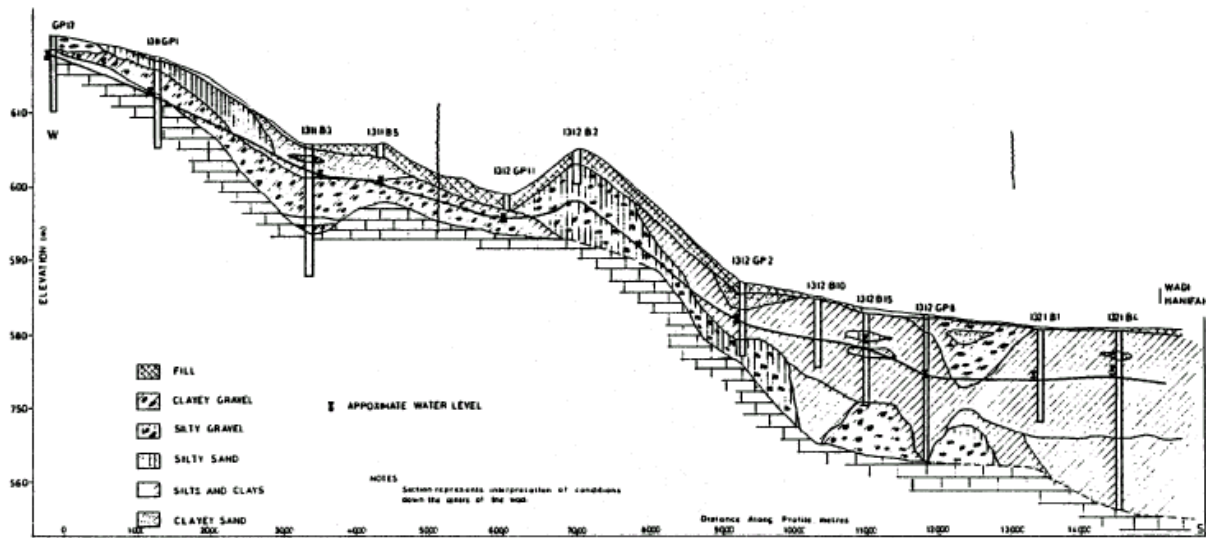
## ٦,٨ الاختبارات الحقلية Field Tests:

هناك العديد من الاختبارات الحقلية التي يلزم عملها بحسب نوع وحجم المشروع والحاجة إلى هذه الاختبارات، ولا مجال لعرضها تفصيلها في هذا المقرر ولكن يكتفى بسردها وهي:

- اختبار الاختراق القياسي
- اختبار الاختراق الاستاتيكي
- اختبار القص الدوراني
- اختبار القرص المحمل
- اختبار مقياس الضغط
- اختبار تحديد معامل نفاذية التربة
- اختبار تحديد دليل قوة تماسك الصخور

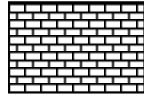
## ٧,٨ قطاع التربة في الموقع :Subsurface Profile

إن من نتائج تحريات التربة الحصول على قطاع يمر بالجسات وحفر الاختبار حتى يوضح تسلسل طبقات تربة الموقع وسمك كل طبقة وعمق الطبقة الصخرية ومنسوب المياه الجوفية، وقد يحتاج رسم القطاع إضافة جسات أو حفر اختبار أخرى. وهذا القطاع يتم رسمه بمقياس رسم يتناسب مع مساحة الموقع، على أن توضح حفر الاختبار والجسات بخطوط رأسية متوازية. والشكل (9.8) يبين قطاع التربة لوادي البطحاء بمدينة الرياض. ويتم توضيح قطاع الجسة أو حفرة الاختبار برموز لأنواع التربة والصخور، وأبرز هذه الرموز يبينها الشكل (10.8). كما أن الشكل (11.8) يبين نموذج لإحدى الجسات موضحاً عليها طبقات التربة ومناسبتها.



شكل (9.8): قطاع التربة لوادي البطحاء بمدينة الرياض

(دراسة مركز المشاريع والتخطيط التابع للهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض)



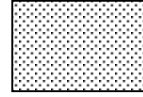
حجر رملي



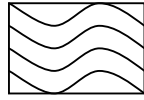
ركام



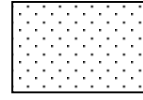
مارل (طين جيرى)



رمل



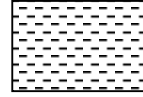
صخر متحول



طمي



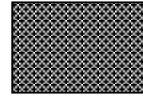
صخر نارى



طين



جيوب (فراغات)



ردم

شكل (10.8): بعض الرموز المستخدمة في قطاع الجسات

RECORD OF BOREHOLE 109

PROGRESS			SAMPLE/TEST		STRATA			
HOLE	CASING	WATER	DEPTH	TYPE	LEGEND	DEPTH	LEVEL	DESCRIPTION
28/8/98			0.30	D1		0.30	3.10	Brown sandy TOPSOIL
			1.88 - 2.13	S(29)				medium dense to dense red
		Met at 2.00	0.30 - 2.18	B1				brown silty SAND and FINE GRAVEL
			2.20	W				
			2.50	D3		2.6	0.80	
			3.15 - 3.45	C(6)				Medium dense brown silty SAND with clayey layers, containing occasional gravel
			3.45 - 3.75	(17)				
			2.70 - 3.90	D4				
			4.10 - 4.55	B2				
			4.10	U-/120				
4.56	4.56	4.00	4.10	D5		4.56	-1.16	
29/8/98		1.50	5.50	U1/80				Stiff light brown laminated silty CLAY, with layers of sand
			6.00	D6				
			6.90	D7		7.10	-3.70	
			7.45 - 7.75	S(29)				Medium dense becoming dense brown SAND
			8.45 - 8.75	D8				
			9.45 - 9.75	S(22)				
			10.45 - 10.75	D9				
			10.45 - 10.75	S(26)				
			11.20	D10				
10.73	10.73	8.00	11.20	S(46)		11.20	-7.80	
			11.20	D11				
30/8/98		1.50	11.30 - 11.75	U2/120				Compact brown silty SAND with layers of silty clay
			11.80	D13		11.80	-8.40	
			12.90 - 13.35	U3/150				Compact brown SAND and GRAVEL
13.40	12.90	9.90	12.90 - 13.35	D14		12.80	-9.40	
31/8/98		8.00	13.35	D15				Dense grey-brown clayey SAND with occasional gravel
13.70	13.44	13.00	13.70	D15		13.70	-10.30	
4/9/98		1.50	13.70 - 15.10	1.40*				Hard mottled red-brown, grey and green coarse grained BASALTIC TUFF
		WATER FLUSH	15.10 - 16.34	1.24				
16.34	13.44	-0.36	16.34 - 17.40	1.06		16.13	-12.73	Soft and medium hard weathered mottled red-brown, grey-green BASALTIC TUFF
5/9/98		1.04	16.34 - 17.40	1.06		17.19	-13.79	
17.40	18.41	-0.36	17.40			17.40	-14.00	Hard mottled grey-green BASALTIC TUFF

Remarks: Penetration test continued beyond normal drive from 3.45m. 40mm diameter perforated standpipe 18.00m long inserted, surrounded by gravel filter with bentonite seal and screw cap at surface.

Key:

D	Disturbed sample	S(30)	Standard penetration test	U1/70	Undisturbed sample 100mm dia
B	Bulk sample	C(27)	Cone penetration test	/70	Blows to drive sample 450mm
W	Water sample	(27)	No blows for 300mm pentn.	U-/70	U/d sample - no recovery
*	Core recovery	V	In situ vane shear test	LCP	Light cable percussion
				DD	Rotary diamond drilled

شكل (11.8): نموذج لقطاع جسة

## ٨,٨ تقرير تحريات التربة :Soil Investigation Report

تعد كتابة التقرير الفني عن تحريات التربة بمثابة المرحلة الأخيرة من برنامج تحريات موقع المشروع. وهذا التقرير يجب أن يشمل جميع البيانات المتعلقة بالتربة والصخر والمياه الجوفية، من حيث المعلومات التي تم جمعها مسبقاً ونتائج الاختبارات العملية والميدانية من برنامج التحريات. وبالتالي فإن هذا التقرير يعد مرجع رئيسي للمهندس المصمم وخاصة فيما يتعلق بالأساسيات، كما يعد التقرير مرجعاً مستقبلياً يمكن الرجوع إليه عند الحاجة. ويجب أن يحتوي التقرير على ما يلي:

- (١) العنوان الرئيسي للتقرير.
- (٢) محتويات التقرير.
- (٣) وصف عام للموقع بما في ذلك المشروع المقترح.
- (٤) الوضع الجيولوجي والهيدروليجي للموقع.
- (٥) برنامج التحريات من حيث توزيع الجسات وحفر الاختبار وأعدادها وأعماقها.
- (٦) وصف التربة وطبقاتها.
- (٧) وصف الطبقة الصخرية وتحديد عمقها.
- (٨) منسوب المياه الجوفية ونتائج تحليلها الكيميائي.
- (٩) نتائج الاختبارات العملية والميدانية.
- (١٠) توصيات بشأن الأساسات مثل نوعها ومنسوبها وقدرة تحمل التربة لها والهبوط المتوقع.
- (١١) خلاصة التقرير وحدود استخداماته.
- (١٢) ملاحق في نهاية التقرير مثل:
  - خريطة عامة للموقع.
  - سجلات حفر الجسات والقطاعات التي توضحها.
  - الجداول المبينة لنتائج الاختبارات العملية و الميدانية.
  - المذكرات الحسابية لاستنتاج معاملات التربة.
  - المخططات والصور الفوتوغرافية.



## التجربة الأولى: اختبار المحتوى المائي Water Content Test

### الأدوات المستخدمة:

ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.01 gm

فرن تجفيف بدرجة حرارة  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$

علبة صفيح أو ألومنيوم

ملقاط واقٍ للحرارة

### طريقة العمل:

1. زن علبة الصفيح أو الألومنيوم بعد التأكد من نظافتها وخلوها من الرطوبة والتأكد من وجود علامة التصنيف عليها، وليكن  $W_1$ .
2. ضع عينة التربة الرطبة في العلبة ومن ثم أوجد وزن التربة والعلبة معاً، وليكن  $W_2$ .
3. ضع عينة التربة بعد وزنها في فرن التجفيف وعند درجة حرارة تتراوح بين  $105^{\circ}C$  و  $110^{\circ}C$  ولمدة لا تقل عن 12 ساعة، ومن الأفضل أن تكون بعد 24 ساعة.
4. استخرج العلبة من الفرن باستخدام الملقاط، ومن ثم أوجد وزن العينة مع العلبة بعد التأكد من جفافها، ويفضل أن يكون على نفس الميزان، وليكن الوزن  $W_3$ .

### العمليات الحسابية:

يحسب المحتوى المائي بإيجاد النسبة بين وزن الماء الموجود في العينة  $W_w$  ووزن المواد الصلبة للعينة  $W_s$ ،

وذلك من العلاقة:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

وبمعرفة الأوزان التي تم تحديدها من التجربة، فإن المحتوى المائي يمكن تحديده كما يلي:

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

جدول تحديد المحتوى المائي

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

## التجربة الثانية:

### اختبار حد السيولة Liquid Limit Test

#### الأدوات المستخدمة:

١. جهاز كازاجرانند Cassagrande مع أداة القطع التابعة له.
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 ألومنيوم
٥. ملقاط أو أداة واقية للحرارة
٦. منخل رقم 40
٧. ماء مقطر
٨. سكينه خلط

#### طريقة العمل:

١. تأكد من معايرة جهاز كازاجرانند وتصحيحه إذا لزم ذلك بحيث تكون مسافة سقوط الجهاز 1 cm.
٢. زن أربع علب بعد معرفة تصنيفها لتحديد المحتوى المائي.
٣. 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 تنعيم 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 لإفصال المجرى بمسافة نصف بوصة في أسفل الوعاء. خذ جزء من عينة التربة من قرب المجرى وحدد وزنها وضعها في الفرن لتحديد محتواها المائي.
٤. أعد خلط عينة التربة التي في الوعاء وبمحتوى مائي مختلف، وكرر خطوات التجربة من ٤ إلى ٦، حيث يتم تحديد المحتوى المائي لأربع عينات تربة وبعدد 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:

$$W_1 = \text{وزن الوعاء فارغاً}$$

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

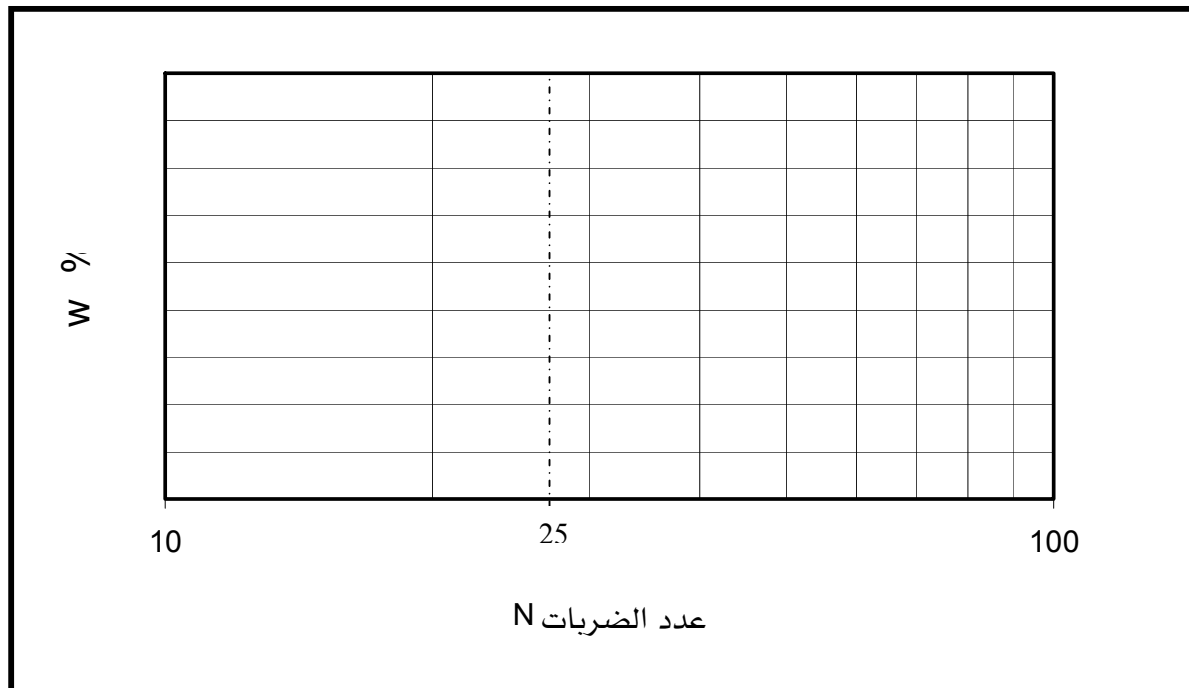
$$W_3 = \text{وزن الوعاء + وزن التربة الجافة}$$

## 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 ألومنيوم
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  $\frac{1}{8}$  (≈ 3 mm) البوصة دون أن ينقطع.
٣. خذ جزء من عينة التربة المدحرجة وحدد وزنها وضعها في الفرن لتحديد محتواها المائي.
٤. كرر الخطواتين 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)
			( )
			المحتوى المائي (%) PL

## التجربة الرابعة: التدرج الحبيبي Grain Size Distribution

### أ - اختبار التحليل المنخلي Sieve Analysis Test

#### الأدوات المستخدمة:

١. مجموعة من المناخل القياسية
٢. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm
٣. فرن تجفيف بدرجة حرارة  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
٤. فرشاة تنظيف المناخل
٥. محقنة

#### طريقة العمل:

١. زن جميع المناخل المستخدمة بعد التأكد من نظافتها.
٢. رتب المناخل من الأعلى إلى الأسفل تبعاً لأقطار فتحاتها.
٣. زن حوالي 500 gm كعينة من التربة الممثلة بحيث تكون جافة وأحجام حبيباتها تتناسب مع فتحات المناخل المختارة.
٤. ضع التربة على المناخل وابدأ بهزها باليد لمدة نصف الساعة أو باستخدام الهزاز الميكانيكي ولمدة عشر دقائق، ويمكن استخدام الفرشاة لإزالة الحبيبات العالقة في المناخل.
٥. زن كل منخل مع التربة المتبقية عليه.
٦. 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



## اختبار التحليل المنخلي

موقع العينة: .....

وصف عينة التربة: .....

رقم العينة: .....

رقم الجسنة: .....

رقم الاختبار: .....

عمق العينة: .....

الوزن النوعي: .....

المحتوى المائي: .....

التأريخ: .....

اسم الفاحص: .....

نسبة المرار (%)	النسبة التراكمية للتربة المتبقية (%)	نسبة التربة المتبقية (%)	وزن التربة المتبقية (جم)	وزن المنخل + وزن التربة (جم)	وزن المنخل (جم)	قطر فتحة المنخل (مم)	رقم المنخل
						25.40	-
						12.70	-
						6.35	-
						4.75	4
						2.00	10
						0.850	20
						0.425	40
						0.15	100
						0.074	200
							Pan

## التجربة الخامسة: التدرج الحبيبي Grain Size Distribution

### ب - اختبار التحليل الهيدرومترى Hydrometer Analysis Test

#### الأدوات المستخدمة:

١. هيدروميتر
٢. اسطوانات اختبار مدرجة
٣. خلط
٤. ميزان لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm
٥. فرن تجفيف بدرجة حرارة  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$
٦. وعاء تجفيف
٧. محقنة
٨. ساعة توقيت
٩. ترمومتر
١٠. ماء مقطر

#### طريقة العمل:

١. اخلط حوالي 50 gm من التربة المارة من منخل رقم 200 في تجربة التحليل المنخلي مع ماء مقطر حتى تصبح عجينه ناعمة ورقيقة.
٢. 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.
٣. انقل المزيج إلى كأس الخلط بعناية بحيث لا يفقد جزءاً منه، وأضف إليه ماء مقطراً بواسطة المحقنة حتى يصل لأكثر من نصف كأس الخلط.
٤. اخلط المزيج في الخلط لحوالي 15 دقيقة حتى تنتفتت حبيبات التربة إلى جزيئات مستقلة.
٥. 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. أملاً 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 تجفيف الهيدروميتر قبل استخدامه وإدخاله في أسطوانة الخليط بمدة 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 بسيطاً 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).

### العمليات الحسابية:

(أ) حساب القطر المؤثر لحبيبات التربة من العلاقة:

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

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

حيث:

$D$  = قطر جزيئات التربة (mm)

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

$G_s$  = الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة

$G_T$  = 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:

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

حيث:

$N$  = نسبة التربة الناعمة (%)

$G_s$  = الوزن النوعي لحبيبات التربة الصلبة

$G_T$  = 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	0.9898	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

٣. 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

( ) : قيم

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		

## اختبارات الدمك Compaction Tests

### الأدوات المستخدمة:

أجهزة الدمك: قالب مع قاعدته وطوقه، مطرقة

منخل رقم (٤)

صينية خلط كبيرة

وعاء تجفيف

ميزان كبير يزن إلى 20 kg

ميزان صغير لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm

فرن تجفيف بدرجة حرارة  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$

مغرفة

سكين تسوية

علب لتحديد المحتوى المائي



## التجربة السادسة: أ - اختبار بروكتور القياسي Standard Proctor Test

### طريقة العمل:

١. جهز عينة التربة بكمية تصل إلى 15 kg بحيث تكون مجففة بتأثير الهواء.
٢. ضع العينة في صينية الخلط وابدأ في خلطها وتفتيت حبيباتها بواسطة اليد.
٣. مرر العينة على منخل رقم (٤) للتأكد أن أكثر من ٨٠٪ منها قد تجاوز هذا المنخل، وإلا أعد خلط وتفتيت التربة.
٤. زن القالب فارغاً مع قاعدته وبدون الطوق العلوي، باستخدام الميزان الكبير.
٥. ثبت الطوق على القالب بإحكام.
٦. ضع جزءاً من عينة التربة في القالب بحيث تغطي حوالي ثلث حجم القالب وبسمك يتراوح بين 5 cm و 7 cm.
٧. ادمك التربة في القالب بواسطة المطرقة التي وزنها 2.5 kg وارتفاع سقوطها 30.5 cm، وبعدد ٢٥ ضربة موزعة على سطح التربة.
٨. اعمل شروخ أو تشققات في سطح الطبقة المدكوكة بسمك نصف سنتيمتر تقريباً بواسطة سكين، ثم أضف الثلث الثاني من التربة ودكها بنفس الطريقة الموضحة في الخطوة (٧).
٩. اعمل شروخ مرة أخرى في سطح الطبقة المدكوكة بسمك نصف سنتيمتر تقريباً بواسطة سكين، ثم أضف الثلث الأخير من التربة بحيث تغطي كامل القالب بما فيه الطوق، ودكها بنفس الطريقة الموضحة في الخطوة (٧).
١٠. أزل الطوق بعناية حتى لا تتفتت التربة المدكوكة، ثم أزل التربة الزائدة عن ارتفاع القالب بحافة السكين حتى يتساوى سطح التربة مع حافة القالب تماماً.
١١. أوزن التربة مع قاعدته والتربة الموجودة به.
١٢. أخرج العينة من القالب، وقد تحتاج إلى جهاز استخراج العينات.
١٣. حدد المحتوى المائي للتربة بأخذ عينة من أعلى ووسط وأسفل التربة المدكوكة.
١٤. كرر الخطوات من (٦) إلى (١٣) بزيادة المحتوى المائي في كل مرة بنسبة ٣٪ تقريباً حتى تبدأ الكثافة الجافة للتربة في النقصان.

## التجربة السابعة: ب - اختبار بروكتور المعدل Modified Proctor Test

### طريقة العمل:

١. اتبع الخطوات من (١) إلى (٥) المبينة في طريقة عمل اختبار بروكتور القياسي.
٢. ضع جزءاً من التربة بحيث تغطي خمس القالب بعد الدمك.
٣. ادمك التربة في القالب بواسطة المطرقة التي وزنها 4.54 kg وارتفاع سقوطها 45.72 cm، وبعدها ٢٥ ضربة موزعة على سطح التربة.
٤. اعمل شروخ أو تشققات في سطح الطبقة المدكوكة بسمك نصف سنتيمتر تقريباً بواسطة سكين، ثم أضف الخمس الثاني من التربة ودكها بنفس الطريقة الموضحة في الخطوة (٣).
٥. كرر العملية نفسها حتى الطبقة الخامسة.
٦. اتبع نفس العمليات الموضحة في اختبار بروكتور القياسي وذلك من الخطوة (١٠) إلى (١٣).
٧. كرر الطريقة بزيادة المحتوى المائي لعينة التربة بنسبة ٣٪ تقريباً في كل مرة حتى تبدأ الكثافة الجافة للتربة في النقصان.

### العمليات الحسابية:

يكمن الهدف من تجربة الدمك في تحديد أقصى كثافة جافة ( $\gamma_{d-max}$ ) maximum dry density ونسبة المياه الحرجة ( $OMC$ ) optimum moisture content المناظرة لها، ويتم ذلك برسم الكثافة الجافة مع المحتوى المائي بعد تحديدهما من خطوات التجربة. ويتم حساب الكثافة الجافة من العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

$$= \frac{W}{V \left( 1 + \frac{w}{100} \right)}$$

حيث:

$W_s$  = وزن حبيبات التربة الصلبة في القالب

$V$  = حجم القالب

$W$  = وزن التربة الرطبة في القالب

$w$  = المحتوى المائي للتربة المدكوكة

## اختبارات الدمك

وصف عينة التربة: .....	موقع العينة: .....
رقم الجسمة: .....	رقم العينة: .....
عمق العينة: .....	رقم الاختبار: .....
المحتوى المائي: .....	الوزن النوعي: .....
اسم الفاحص: .....	التأريخ: .....

## جدول تحديد الكثافة الجافة

رقم الاختبار	١	٢	٣	٤	٥
( ) +					
وزن القالب (جم)					
وزن التربة المدكوكة (جم)					
الكثافة الرطبة للتربة ( $\text{kN/m}^3$ )					
الكثافة الجافة للتربة ( $\text{kN/m}^3$ )					

## جدول تحديد المحتوى المائي

رقم الاختبار	١	٢	٣	٤	٥
رقم الوعاء (جم)					
وزن الوعاء (جم)					
وزن الوعاء + التربة الرطبة (جم)					
وزن الوعاء + التربة الجافة (جم)					
( )					
وزن التربة الجافة (جم)					
المحتوى المائي (%)					

## References

١. أسامة مصطفى الشافعي (١٩٨٨) " ميكانيكا التربة، أساسيات وخواص التربة"، الجزء الأول، دار الراتب الجامعية، بيروت.
٢. أسامة مصطفى الشافعي (١٩٨٨) "ميكانيكا التربة، التطبيقات الهندسية"، الجزء الثاني، دار الراتب الجامعية، بيروت.
٣. السيد عبد الفتاح القصيبي (١٩٩٩) "ميكانيكا التربة"، دار الكتاب العلمية للنشر والتوزيع.
٤. Atkinson, J. (1993), "An Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations", McGraw-Hill Inc.
٥. Atkins, H. N. (1983), "Highway Materials, Soils, and Concretes", 2<sup>nd</sup> Edition, Prentice-Hall Company, Virginia.
٦. Bowles, J. E. (1997) "Foundation Analysis and Design", McGraw-Hill Inc.
٧. Das, B. M. (1993) "Principles of Geotechnical Engineering", 3<sup>rd</sup> Edition, PWS Publishing Company, Boston.
٨. Lambe, T. W. & Whitman, R. V. (1969) "Soil Mechanics", John Wiley & Sons Inc., New York.
٩. Smith, G. N. & Smith, I. G. (1998) "Elements of Soil Mechanics", 7<sup>th</sup> Edition, Blackwell Science.
١٠. Spangler, M. G. & Handy, R. L. (1982), "Soil Engineering", 4<sup>th</sup> Edition, Happer & Row, Publishers, Inc., New York.

**الفصل الأول : مقدمة في ميكانيكا التربة**

٢	١,١ مقدمة
٣	٢,١ تعاريف
٣	٣,١ تشكل التربة
٤	٤,١ تركيب التربة
٥	٥,١ المشاكل المصاحبة لأعمال التربة

**الفصل الثاني : الخواص الأساسية للتربة**

٩	١,٢ مقدمة
٩	٢,٢ علاقة أوزان وأحجام التربة
١٩	٣,٢ قوام التربة
٢٣	مسائل

**الفصل الثالث : تصنيف التربة**

٢٦	١,٣ مقدمة
٢٦	٢,٣ التدرج الحبيبي للتربة
٢٧	١,٢,٣ اختبار التحليل المنخلي
٢٩	٢,٢,٣ اختبار التحليل الهيدرومترى
٣١	٣,٢,٣ منحنى التدرج الحبيبي
٣٥	٣,٣ تصنيف التربة بنظام التوحيد القياسي
٣٩	٤,٣ تصنيف التربة بنظام آشتو
٤٥	مسائل

**الفصل الرابع : دمك التربة**

٤٧	١,٤ مقدمة
٤٨	٢,٤ نظرية الدمك
٥٠	١,٢,٤ اختبار بروكتور القياسي
٥١	٢,٢,٤ اختبار بروكتور المعدل
٥١	٣,٢,٤ خط التشبع

٥٤	٣,٤	العوامل المؤثرة على الدمك
٥٨	٤,٤	دمك التربة في الموقع
٥٨	١,٤,٤	معدات الدمك في الموقع
٦١	٢,٤,٤	طريقة مخروط الرمل
٦٣	٥,٤	الدمك النسبي
٦٤		مسائل

### الفصل الخامس: نفاذية التربة

٦٧	١,٥	مقدمة
٦٨	٢,٥	قانون دارسي
٧٠	٣,٥	قياس النفاذية
٧١	١,٣,٥	تحديد معامل النفاذية في المعمل
٧٥	٢,٣,٥	تحديد معامل النفاذية في الموقع (اختبار الضخ)
٧٧	٤,٥	ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية
٧٩	٥,٥	النفاذية المكافئة للتربة الطبقية
٨٢	٦,٥	العوامل المؤثرة على نفاذية التربة
٨٢		مسائل

### الفصل السادس: إجهاد التربة الرأسي

٨٦	١,٦	مقدمة
٨٦	٢,٦	الإجهادات الناجمة عن وزن التربة
٩٠	٣,٦	الإجهاد الكلي الناجم عن أحمال إضافية على السطح
٩٢	٤,٦	إجهادات التربة الناجمة عن ضغط الأساسات
٩٤	٥,٦	طريقة بوسينسك لتحديد إجهادات التربة
٩٧		مسائل

### الفصل السابع: ضغط التربة الجانبي

١٠٠	١,٧	مقدمة
١٠٠	٢,٧	الضغط في حالة الراحة
١٠٢	٣,٧	نظرية رانكن للضغط الفعال والسلبي

١٠٢	١,٣,٧ الضغط الإيجابي
١٠٤	٣,٣,٧ الضغط السلبي
١١٠	٣,٣,٧ ميلان سطح الأرض
١١٣	٤,٣,٧ الأحمال الحية
١١٦	

مسائل

### الفصل الثامن: تحريات التربة

١١٩	١,٨ مقدمة
١١٩	٢,٨ برنامج استكشاف التربة
١٢١	٣,٨ طرق جسات التربة
١٢١	١,٣,٨ جسات التربة بالأدوات التقليدية
١٢٢	٢,٣,٨ جسات التربة بالمعدات الآلية
١٢٦	٤,٨ عينات التربة
١٢٦	١,٤,٨ عينة مقلقة
١٢٧	٢,٤,٨ عينة غير مقلقة
١٢٩	٥,٨ درجة قلقلة العينة
١٣١	٦,٨ الاختبارات الحقلية
١٣١	٧,٨ قطاع التربة في الموقع
١٣٥	٨,٨ تقرير تحريات التربة

### اختبارات التربة

١٣٦	التجربة الأولى: اختبار المحتوى المائي
١٣٨	التجربة الثانية: اختبار حد السيولة
١٤١	التجربة الثالثة: اختبار حد اللدونة
١٤٣	التجربة الرابعة: اختبار التحليل المنخلي
١٤٥	التجربة الخامسة: اختبار التحليل الهيدرومترى
١٥٢	التجربة السادسة: اختبار بروكتور القياسي
١٥٣	التجربة السابعة: اختبار بروكتور المعدل
١٥٥	

المراجع

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

**BAE SYSTEMS**