

الاشتراطات الفنية لاعداد الدراسات الجيوتقنية

١ - عام

يعني بالدراسات الجيوتقنية جميع الأعمال التي لها علاقة باستكشاف الموقع ودراسة التربة والصخور والمياه الجوفية وتحليل المعلومات وترجمتها للتنبؤ بطريقة تصرف التربة عند البناء عليها ، وهذه الدراسات تعتبر مهمة جداً في مرحلتي التصميم والتنفيذ للمباني ، وتعتبر مكملة لها . وتشتمل الدراسات المطلوب إجراؤها للموقع على مرحلتين هامتين يقدم فيهما تقريران منفصلان وهما :

أ - تقرير المسح الابتدائي .

ب - تقرير المسح النهائي .

وتعتمد هذه التقارير على أهمية وحساسية المشروع ، ويمكن أن يطلب تقرير واحد أو كلاهما معاً ، وفيما يلي شرح مفصل لمتطلبات كل تقرير على حدة .

٢ - تقرير المسح الابتدائي

يهدف هذا التقرير إلى إيجاد ملخص عام عن العوامل الجيوتقنية التي تؤثر على تحديد أو إنشاء أو تقييم فكرة البناء على المخطط ، والتعرف على نوع التربة وتحديد أوجه الخطورة التي قد تصاحب الموقع ، ويعتبر هذا التقرير أساساً يبني عليه عند إعداد التقرير النهائي للموقع ، ويمكن عمل هذا التقرير ضمن مراحل إجراءات إعداد المخططات السكنية عن طريق البلديات حسب إمكانياتها الفنية والمادية للمخططات التي تملكها البلدية ، أو عن طريق المالك للمخططات الخاصة ، أو عن طريق التعاقد مع استشاري متخصص في هذه الأعمال . وذلك وفقاً للمتطلبات التالية :

٢ - ١ - جمع المعلومات المتوفرة عن الموقع :

- يتم جمع ودراسة المعلومات التالية عن الموقع ، وتعطي هذه المعلومات فكرة عامة عن التكوينات الأرضية وأنواع الصخور الموجودة والتشققات والحركات الأرضية .
- المخططات والرفوعات المساحية للموقع .
- الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية المتوفرة عن المنطقة ، والتي يمكن الحصول عليها من قبل الجهات ذات العلاقة مثل وزارة الزراعة والمياه أو وزارة البترول والثروة المعدنية .
- الصور الجوية والفضائية للمنطقة .
- أنظمة البناء المستخدمة في المدينة وأية أنظمة واشتراطات أخرى خاصة بالموقع .
- دراسات التربة السابقة وتقارير التربة الزراعية وغيرها من الدراسات المهمة التي أجريت على الموقع .
- أية معلومات أخرى لها علاقة بموضوع الدراسة .

٢ - ٢ - استكشاف الموقع :

في هذه المرحلة يتم زيارة الموقع على الطبيعة ومقارنة المعلومات التي تم تجميعها عنه مع ما يمكن مشاهدته بالعين المجردة ، ووصف التربة والتحري عن المشاكل الموجودة بالموقع ، وذلك بسؤال أهل الخبرة عن تاريخ المنطقة (الأودية والتشققات الأرضية والزلازل أو أية أخطار أخرى سجلت عنها) .

٢ - ٣ - الاختبارات المعملية :

يتم عمل اختبارات على عينات التربة السطحية التي تؤخذ بواسطة الحفر الاختيارية باليد ، ويمكن الحصول على عينات مقلقلة أو عينات غير مقلقلة وإجراء الاختبارات التالية عليها :

- تصنيف نوع التربة .
- تحديد نسبة الرطوبة الطبيعية .
- تحديد حدود التبرج (حد السيولة ، حد اللدونة) .

- تحديد الوحدة الوزنية الجافة للتربة .

- اختبارات التربة الانتفاخية والانهيابية .

وهذه الاختبارات وإن كانت بسيطة ويمكن للبلدية القيام بها ، فإنها تعطي مساعدة كبيرة للمهندسين بالإضافة إلى المعلومات السابقة في تحديد نوعية التربة السطحية ، وتقدير معاملات التربة الضرورية باستخدام معادلات الربط لتصميم الأساسات ومعرفة ما إذا كان هناك مشاكل فنية يستلزم الأمر بحثها والتحري عنها .

٢ - ٤ - التقرير الفني :

يتضمن تقرير المسح الابتدائي وصفاً شاملاً للموقع والمشاريع المقترح إقامتها عليه وارتفاعاتها ، وإيضاح طوبوغرافية الأرض والتكوينات الجيولوجية لها وخصائصها ، والمخاطر التي قد تكون وعلاقتها بالمباني ، وحالة المياه الجوفية بصفة عامة ، ويتم إعداد خريطة للموقع يوضح فيها نوع التربة وأماكن وجود أية مخاطر ، والطرق الفنية التي تم استخدامها للوصول إلى تحديد نوعية التربة واستنتاج معاملات الضرورية للتصميم ، والتوصيات لدراسات أخرى أكثر دقة ووضع برامج تنفيذها كعدد الجسات ومواقعها وأعماقها ونوع الاختبارات المطلوبة .

٣ - تقرير المسح النهائي

عند قيام البلدية أو الوزارة بمراجعة تقرير المسح الابتدائي وتحديد ما إذا كان الموقع صالحاً من عدمه ، والحاجة لعمل دراسات إضافية ، يتم عمل التقرير النهائي للدراسات الجيوتقنية والذي يعتبر امتداداً للتقرير السابق ولكن بصورة أكثر دقة ، وتعتمد كمية العمل في هذا التقرير على نتائج التقرير السابق والمشاكل الموجودة في الموقع ، وهذا التقرير يمكن الاعتماد عليه بصورة أفضل في البناء والدراسات الأولية للمشاريع . ويسند عمل هذا التقرير إلى استشاري متخصص في مجال عمل الدراسات الجيوتقنية ، ولا بد أن يحتوي التقرير على ما يلي :

٣ - ١ - ملخص لدراسات التربة السابقة :

يتم إعداد ملخص عام لأية دراسات سابقة ، ويمكن إرفاق نسخة من تقرير المسح الابتدائي، وفي حالة عدم وجود تقرير يقوم الاستشاري باتباع الخطوات الموضحة بتقرير المسح الابتدائي ، وعمل الخرائط الضرورية ، وإعداد وصف شامل للموقع والمشاريع المقترح إقامتها عليه .

٣ - ٢ - أعمال الحفر واستخراج العينات :

يتم إيضاح جميع طرق أعمال الحفر واستخراج العينات التي قام بها الاستشاري للتربة أو للصخور ، والآليات والمعدات المستخدمة فيها وأنواعها وموديلاتها ، وعدد جسات التربة موضحة على مخطط الأرض المطلوب دراسة تربتها ، وسجلات الحفر لكل جسة وأعماق الجسات ، وإيضاح طبقات التربة وقطاعاتها وأنواعها المختلفة ومنسوب المياه الجوفية .

٣ - ٣ - الاختبارات الحقلية :

يتم عمل الاختبارات الحقلية الضرورية حسب نوع التربة والحاجة إلى إعداد هذه الاختبارات، ومنها :

- اختبار الاختراق القياسي .

- اختبار الاختراق الاستاتيكي .

- اختبار مقياس الضغط .

- اختبار القص الدوراني .

- اختبار مقاومة التربة للقص .

- اختبار مقياس التمدد الحراري .

- اختبار تحديد معامل نفاذية التربة .

- اختبار تحديد دليل قوة تماسك الصخور .

- تحديد الوحدة الوزنية الجافة للتربة .

- اختبار القرص المحمل .

- اختبار المكافئ الرملي .

- تصنيف أنواع التربة والصخور وذلك طبقاً لما يلي :

أ - نظام تصنيف التربة الموحد .

ب- نظام آشتو لتصنيف التربة .

٣ - ٤ - الاختبارات المعملية :

يتم شرح طريقة استخراج وحفظ ونقل العينات المقلقلة وغير المقلقلة والآليات المستخدمة فى ذلك ، وإجراء الاختبارات الضرورية حسب نوع التربة والحاجة إلى إعداد هذه الاختبارات والتي منها :

- تحديد نسبة الرطوبة .

- تحديد حدود اتربرج .

- التدرج الحبيبي .

- الوحدة الوزنية للتربة .

- الكثافة النسبية .

- الوزن النوعي .

- اختبار الدك .

- تحديد نسبة تحمل كاليفورينا .

- اختبار القص المباشر .

- اختبار الضغط الغير محدد .

- اختبار الضغط ثلاثي المحاور .

- تحديد معامل نفاذية التربة .

- اختبارات انهيارية أو انتفاخية التربة .

- التحاليل الكيميائية .

وجميع هذه الاختبارات تعطي معلومات كافية لتحديد خصائص التربة ومعاملاتها والمعاملات الأخرى المستخدمة في تصميم الأساسات .

٣ - ٥ - التقرير الفني :

يعتبر التقرير الفني من أهم مراحل الدراسة ، ويجب أن يحتوي التقرير النهائي على الحد الأدنى من المعلومات والمتطلبات التالية :

١ - وصف المشروع ، ويشتمل على العناصر التالية :

- المقدمة .

- البيانات الرئيسية عن المشروع .

- الموقع والمشاريع المقترحة عليه .

- الأعمال المطلوبة .

٢ - جيولوجية المنطقة :

- المميزات والمعالم الجيولوجية .

- أنواع التربة والصخور .

- الخرائط الجيولوجية .

٣ - استكشاف الموقع :

- أعمال حفر الجسات ومواقعها وعددها وأعماقها .

- المعدات المستخدمة وأنواعها وموديلاتها .

- أماكن استخراج العينات وطرق تعبئتها وحفظها .

- الاختبارات الحقلية .

- الدراسات الجيوفيزيائية .

٤ - الاختبارات المعملية .

٥ - النتائج وتحليل المعلومات .

٦ - التوصيات ، ويجب أن تشمل على ما يلي :

- قطاعات التربة للجسات المختلفة موضحاً عليها طبقات التربة المختلفة وسماكة كل منها .
- تحديد منسوب المياه الجوفية وتأثير ذلك على تصميم وتنفيذ الأساسات .
- نوعية التأسيس الاقتصادي للملائم لتربة الموقع وأحمال المبنى المقام عليها .
- الأعماق المختلفة الصالحة للتأسيس .
- جهد التربة الأيمن المسموح به عند كل منسوب تأسيس مقترح .
- الهبوط الكلي المسموح به ، وكذلك الهبوط المتفاوت المسموح به وتأثير ذلك على تصميم الأساسات .
- التوصيات اللازمة لحماية خرسانة الأساسات وأية إنشآت تحت منسوب سطح الأرض من الأملاح والكبريتات .
- التوصيات اللازمة للحفر والردم بالموقع والمواد المستخدمة وأماكن وجودها .
- التوصيات الخاصة في حالة وجود مشاكل في التربة .
- التوصيات الخاصة لطرق نزع المياه أثناء التنفيذ .
- أية توصيات أخرى لها علاقة بالتصميم أو التنفيذ .

٧ - الملاحق :

- سجلات حفر الجسات .
- نتائج الاختبارات الحقلية .
- نتائج الاختبارات المعملية .
- المذكرات الحسابية لاستنتاج معاملات التربة .
- الخرائط والمخططات والصور الفوتوغرافية .

نشرة توضيحية حول الدراسات الجيوتقنية والمشاكل الفنية للتربة

١ - عام

تهدف هذه النشرة الفنية إلى التوعية بأهم الأعمال التي تجرى عادة عند إعداد الدراسات الجيوتقنية على الموقع ، من أجل التعرف على الطريقة التي يتم بها إعداد الدراسات الجيوتقنية وإيضاح المتطلبات الرئيسية والمصطلحات الفنية ، والتي ستساعد المهندسين والمسؤولين في البلديات في معرفة متطلبات الدراسة الجيوتقنية ومراجعة تقارير التربة والإشراف على هذا النوع من المشاريع .

وتشتمل هذه النشرة على أعمال استكشاف الموقع والدراسات الجيوفيزيائية وأعمال الحفر على أنواع التربة المختلفة والمعدات المستخدمة في ذلك ، والطرق الفنية لتحديد عدد وعمق جسات التربة، وأماكن استخراج العينات وأنواعها وطريقة تعبئتها ونقلها وتخزينها ، وطريقة ردم الحفر الاختبارية ، وتحديد منسوب المياه الجوفية ، وأنواع الاختبارات الحقلية والمعملية التي تجرى عادة على أنواع التربة المختلفة ، وتصنيف أنواع التربة والصخور وفقاً لنظام تصنيف التربة الموحد ونظام آشتو ، والطرق الفنية لدك وتثبيت التربة .

كما تشتمل النشرة على أهم المشاكل الفنية للتربة الموجودة في المملكة والتعريف بها ، والخطوات التي يمكن اتباعها عند البناء على أنواع التربة التي يوجد بها مشاكل ، كما تم الإشارة إلى المخاطر الزلزالية الموضحة على خريطة تقسيم المملكة إلى مناطق حسب نشاطها الزلزالي ، وفي خاتمة النشرة تم وضع أهم النماذج والمصطلحات الفنية المستخدمة في إعداد تقارير التربة .

نأمل أن تحقق هذه النشرة الفنية الهدف المنشود منها ، والله الموفق .

٢ - استكشاف الموقع

٢ - ١ - الأعمال المكتبية :

يتم تجميع المعلومات المتوفرة عن الموقع من الجهات الرسمية المحلية كالخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والصور الجوية والفضائية ، وكذلك ما يتوفر من معلومات عن استخدامات الموقع السابقة (محاجر ، مناجم ، مقالب نفايات ، آبار ، ... الخ) والأنظمة والتعليمات واشتراطات البناء في المنطقة ، وفي حالة توفر دراسات للتربة في الموقع أو المواقع المجاورة يتم الحصول عليها ، وتجمع معلومات عن وضع المباني القائمة وخصوصاً إذا كانت حالتها متدهورة بسبب التربة أو المياه الجوفية ، وأية معلومات أخرى لها علاقة بالموقع .

٢ - ٢ - الأعمال الميدانية :

تتم معاينة الموقع بشكل دقيق وشامل ، وتحديد جميع الظواهر الطبيعية فيه من أجل وضع برنامج عمل الاختبارات من حيث تحديد الحاجة لإجراء اختبارات مبدئية ، وطرق العمل والاختبارات التي سيتم إجراؤها ، وكيفية أخذ العينات وعمل خريطة مساحية لطبوغرافية الأرض ، ومطابقة الخرائط الجيولوجية على الطبيعة فيها ، ويتم مراعاة ما يلي :

- ملاحظة ما قد يوجد بالموقع من ظواهر مثل المستنقعات أو مساحات السبخة أو الرواسب السطحية والأودية وما شابهها حيث قد تتطلب هذه الأماكن عمل اختبارات خاصة إضافية .
- معرفة ما إذا كان قد تم إضافة ردميات على الموقع أو إزالة طبقات من التربة ، وذلك من أجل دراسة الاندماج المسبق لطبقات التربة Preconsolidation .
- المشاكل الفنية التي حدثت في الموقع أو المواقع المجاورة .

٣ - الدراسات الجيوفيزيائية

Geophysical Studies

تعتبر الدراسات الجيوفيزيائية من الدراسات المهمة والضرورية والتي تساعد أعمال الحفر ، وهناك طريقتان يمكن من خلالهما التعرف المبدئي على طبقات التربة المختلفة وعمق منسوب المياه الجوفية وهما :

- الطريقة السيزمية Seismic .

- طريقة المقاومة الطبيعية Resistivity .

وتتلخص الطريقتان في إرسال موجات اهتزازية في التربة واستقبالها على مسافة محددة مسبقاً بواسطة سماعات النقاط Geophones وتنتج هذه الموجات عن طريق إسقاط مطرقة على قاعدة معدنية مثبتة على سطح الأرض ، وتقاس سرعة سريان الموجات الصوتية التي تخترق الطبقات الأرضية عن طريق جهاز موصل بسماعات الالتقاط ، ويمكن من خلال تحليل المعلومات تحديد كثافة وسمك الطبقات الأرضية ، وتحديد المعاملات الهندسية مثل معامل المرونة E , Young's Modulus ونسبة بواسون ν , poisson's Ratio ومعامل القص Shear Modulus وهذه الدراسات مهمة في استكشاف التكهفات داخل الصخور أو تحديد مكان وجود الصخور تحت الطبقات الترابية وعمقها .

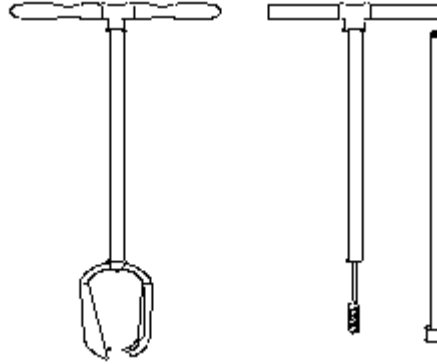
٤ - أعمال الحفر (الجسات)

Soil Borings

الجسات هي حفر أرضية في الموقع المراد استكشافه بأعماق مختلفة يمكن من خلالها الحصول على عينات التربة للتعرف على نوعية وترتيب الطبقات التحتية ، ويمكن تنفيذ الحفر إما يدوياً أو بواسطة معدات آلية أخرى ، وتوجد عدة طرق للحفر من أهمها :

٤ - ١ - حفر الاختبارات المكشوفة Test Pits and Open Cuts

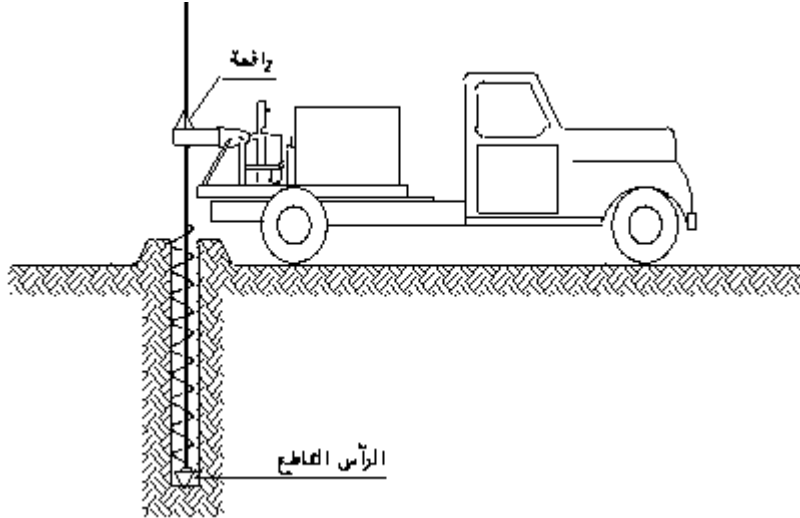
يتم عمل حفر الاختبارات المكشوفة يدوياً باستخدام بعض الأدوات المستخدمة باليد كما هو موضح في الشكل رقم (١) أو آلياً بحيث تسمح هذه الحفر برؤية طبقات التربة في وضعها الطبيعي وبشكل واضح ، ويجب أن تكون هذه الحفر متسعة بشكل يمكن من إجراء الاختبارات فيها بحيث لا يقل عرضها عن (٠,٧٥) م . وهذه الحفر تعتبر اقتصادية حتى عمق ٣م وغير اقتصادية لأعماق أكبر من ذلك أو تحت منسوب المياه الجوفية ، ويمكن بواسطة هذه الحفر عمل الاختبارات الدقيقة بالاتجاه الأفقي أو الرأسي ، وتؤخذ منها عينات التربة المقلقلة أو غير المقلقلة لإجراء الاختبارات عليها ، وتستخدم أيضاً لدراسة الشقوق المكشوفة واستكشاف مناطق الصخر الضعيف ، ويلزم أخذ كافة وسائل الحيطه والسلامة لتدعيم جدران الحفر وحمايتها من العوامل الطبيعية حتى يتم الانتهاء من العمل بها وأخذ العينات المطلوبة ، ثم ردم هذه الحفر وتسويتها ودكها بالطرق الفنية المناسبة .



شكل رقم (١) الأدوات المستخدمة في الحفر باليد

٤ - ٢ - الحفر بالمتقاب Auger Boring

يتألف المتقاب من آلة مصنوعة من الفولاذ ولها حافة حادة قادرة على حفر التربة ، ويعمل المتقاب يدوياً وآلياً بشكل اقتصادي حتى عمق ٥م في التربة اللينة القادرة على الثبات دون انهيار ، أما إذا زاد الحفر عن ٥م فيتم الاستعانة بمواسير تغليف ، وتعتبر هذه الطريقة مناسبة في الحفر التمهيدي ، وكذلك في التربة التي بها نسبة كبيرة من الحصى أو الصخرية أو عند حفر عدد كبير من الجسات ، ويوضح الشكل رقم (٢) الجهاز المستخدم في طريقة الحفر بالمتقاب.



شكل رقم (٢) طريقة الحفر بالمتقاب

٤ - ٣ - الحفر بالمتقاب وماسورة التغليف Shell and Auger Boring

تتشغل أذرع المتقاب باليد أو آلياً بمساعدة برج حفر ثلاثي القوائم ورافعة كبيرة ، ويمكن كسر الأحجار الصغيرة والطبقات الصغيرة من الصخر بمساعدة لقمة إزميل bit Chisel مركبة على أذرع المتقاب ، ويتم إقحام الغلاف بالتربة بواسطة الطرق عليه بمدقة من رافعة ، ويستعمل الجهاز اليدوي في الحفر إلى أعماق تصل إلى (٢٥م)

ويصل قطره إلى (٢٠٠مم) والجهاز الآلي حتى عمق (٥٠م) وتصل عندها أقطار مواسير التغليف وأدوات الحفر من (٨٠) إلى (٣٠٠) مم وتستخدم هذه الطريقة للحفر في التربة الطينية وخصوصاً الشديدة الصلابة والقاسية منها ، وكذلك في التربة الرملية وتربة الصخور الضعيفة .

٤ - ٤ - الحفر بالطرق Percussion Boring

يستعمل في هذه الطريقة جهاز حفر متنقل يقوم بكسر بنبة التربة عبر الطرق المتكرر على سكين أو إسفين للحفر ، ويضاف الماء أثناء العمل ، ويتم رفع ناتج الحفر إلى الخارج على دفعات ، ويمكن من خلال هذه الطريقة الحصول على عينات مقلقلة بواسطة أدوات وأجهزة استخراج العينات في التربة الصخرية .

٤ - ٥ - الحفر بطريقة الاجتراف Wash Boring

يتم حفر التربة بالطرق عليها بإزميل أو آلة حادة ، ويدفع الماء تحت الضغط في أنبوب داخلي قابل للدوران أو الصعود أو النزول خلال أنبوب غلافي خارجي ، ويتم بواسطة الماء المضغوط استخراج التربة المحفورة من بين الأنبوب الداخلي والغلاف الخارجي حيث يشير ناتج الحفر الذي يخرج من الأعلى إلى نوعية التربة الجاري حفرها ، ولدى حصول تغيير في نوعية ناتج الحفر يتم إيقاف الحفر حيث يعتبر مؤشراً إلى تغيير في نوعية طبقة التربة الجاري حفرها ، ويتم وصل أنبوبة أخذ العينات بنهاية قضيب التخريم أو بالأنبوبة الداخلية عند أخذ عينة من طبقة التربة الجديدة ، ويتابع الحفر . وتستخدم هذه الطريقة في التربة الرملية والطينية ، ويوضح الشكل رقم (٣) طريقة الحفر بهذه الطريقة .

٤ - ٦ - الحفر الدوراني Rotary Boring

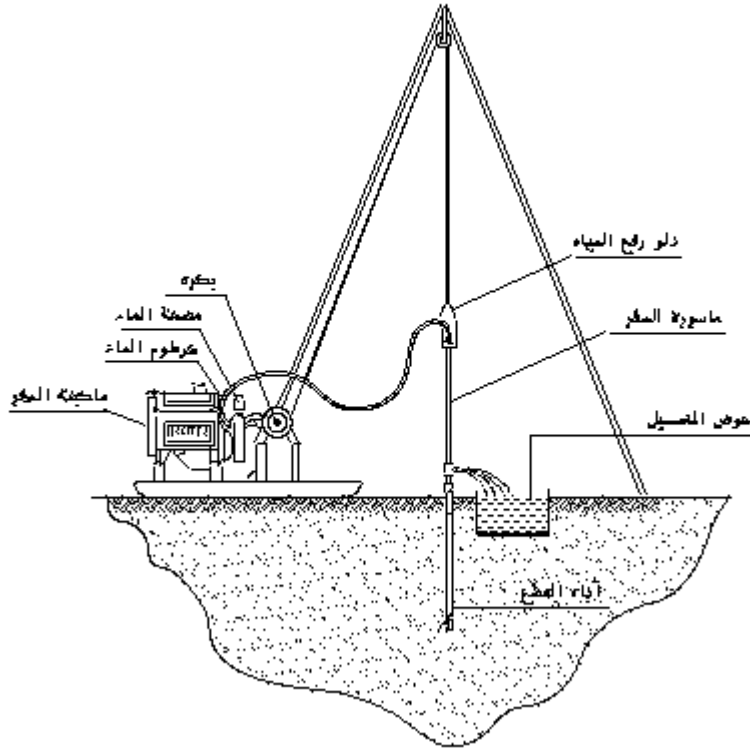
يتم الحفر بواسطة لكمة دوارة تبقى في تلامس قوي مع قاع الحفر ، وتحمل هذه اللكمة بواسطة مواسير التخريم المجوفة والتي تدار برأس دوار ذو تركيبية ملائمة ، ويضخ سائل الحفر بشكل مستمر إلى الأسفل عبر مواسير التخريم المجوفة من أجل تسهيل عملية الحفر ، ولتتم دفع ناتج الحفر إلى الخارج ، ويتكون السائل بشكل عام من الماء ، ويمكن استعمال طين الحفر أو الهواء بدلاً منه ، وذلك حسب نوعية الأجهزة والتربة التي يتم حفرها ، ويتم أخذ العينات بأجهزة خاصة . وهناك طريقتان للحفر الدوراني هما :

١- الحفر المكشوفة Open Holes

ويتم فيها الحفر بواسطة اللكمة الدوارة التي تحفر التربة الداخلة في مجال قطرها ، وتؤخذ العينات من فترة لأخرى ، وتستخدم هذه الطريقة لجميع أنواع التربة المختلفة بما فيها الصخر اللين .

٢ - حفر العينات الصخرية Core Drilling

وهي للحفر بالصخر بحيث يمكن الحصول على العينة الصخرية المستمرة للطبقات على كامل عمق الحفر بواسطة الجهاز نفسه .



شكل رقم (٣) طريقة الحفر بالاجتراف

٤ - ٧ - الحفر باستخدام الحفار المتصل Continuous - Flight Auger

وفي هذه الطريقة يتم إنزال الحفار واستخراج التربة على رأس الحفار بواسطة دفع أنبوية رقيقة على أعماق طولها (١)م وهذه الطريقة تعتبر أسهل وأسرع الطرق لأخذ العينات وتستخدم في جميع أنواع التربة .

٥ - ردم الحفر

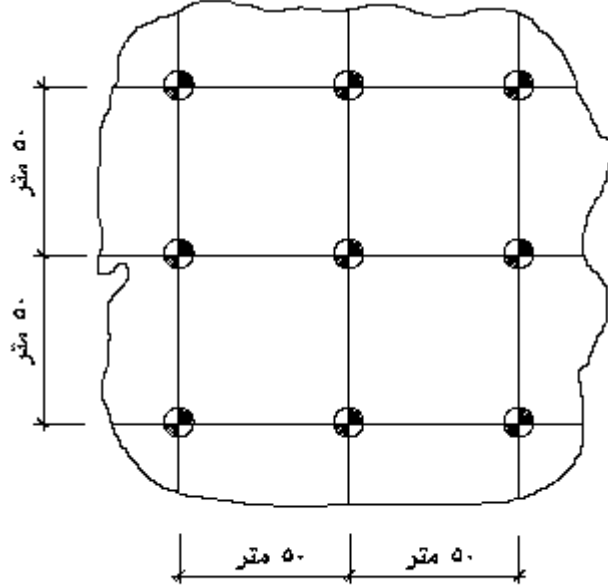
عند الانتهاء من عملية الحفر وأخذ العينات يجب إعادة إغلاق الحفر بالتربة الجافة ودكها جيداً ، أو أن تصب فيها الخرسانة العادية أو المونة الأسمنتية ، وذلك حتى لا تتسبب هذه الحفر في إنضغاط التربة أو تكون ممراً للمياه الجوفية أو أية أخطار أخرى .

٦ - عدد وعمق الجسات

٦ - ١ - عدد الجسات :

يتوقف عدد وبعد الجسات وحفر الاختبارات عن بعضها على مساحة الموقع المطلوب دراسته ، وفي المواقع الكبيرة يتعلق الأمر بطبوغرافية وجيولوجية الموقع ، وكذلك المنشآت المراد إقامتها عليه حسب أهميتها واستعمالاتها علاوة على نوعية التربة نفسها حيث إن الهدف من هذه الجسات هو الحصول على خواص طبقات التربة وسماكتها وأعماقها وميولها ، ويتوقف أيضاً على نتائج تقرير المسح الابتدائي المشار إليه في الفصل الأول ، ويمكن عمل الجسات مبدئياً على بعد (٥٠م) في كل اتجاه طبقاً لشبكة خطوط متعامدة أو حسب ما يتفق عليه . أما في المشاريع الصغيرة التي لا تتجاوز مساحتها (٢٥٠,٠٠٠) فإنه يمكن عمل جسات في كل زاوية من زوايا الموقع إضافة إلى جسة في المنتصف ، وفي حالة وجود كهفات في الحجر الجيري أو وجود تشققات فإنه يلزم عمل جسات متقاربة من (٣) إلى (٥) م أما إذا لم تحقق عدد الجسات ومواقعها الأهداف المرجوة من حيث الحصول على

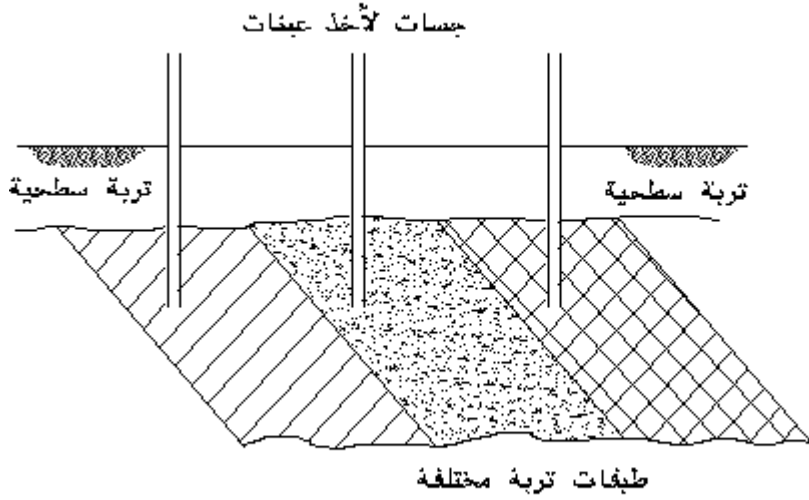
طبقات التربة وسماكتها وأعماقها وميولها ، أو إذا أظهرت العينات التي تم الحصول عليها أن هناك تغيراً في خواص التربة تشير إلى أهمية زيادة أخذ العينات في سبيل الوصول إلى نتائج تتفق مع التغيير الذي تمت ملاحظته ، فإنه يجب إعادة النظر في زيادة عدد الجسات وأعماقها وطرق الاختبارات حسب احتياجات الموقع ، لتحقيق الأهداف المرجوة منها ، ويوضح الشكل رقم (٤) طريقة توزيع الجسات .



شكل رقم (٤) طريقة توزيع الجسات

٦ - ٢ - عمق الجسات :

يتوقف عمق الجسات على نوع المنشآت وحجمها وارتفاعها وشكلها وأوزانها علاوة على نوع التربة وخواصها الميكانيكية ، ويجب أن يشمل العمق على طبقات التربة المساعدة على مقاومة أحمال المنشأة بدون حدوث انضغاط شديد لهذه الطبقات ، أو حصول انهيار فيها ناتج عن القص ، وفي الحالات الاعتيادية لا يقل عمق الجسة عن عشرة أمتار أو ثلاثة أضعاف عرض أكبر قاعدة أيهما أكبر ، ولا بد أن تخترق الجسات جميع الطبقات غير المناسبة كالردميات وطبقات التربة الضعيفة والعضوية إلى الطبقات المتحجرة والسميكة ، وعند وجود طبقة صلبة أو كثيفة سطحية فإنه يلزم امتداد الجسة إلى عمق أكبر للتأكد من عدم وجود طبقات تحتية تتأثر بالاجهادات ، وعند الوصول إلى الطبقات الصخرية فإنه يجب اختراقها بمسافة (١,٥) إلى (٣) م أو سمك طبقة الصخر أيهما أكبر في حالة الصخر المتماسك و(٦)م أو سمك طبقة الصخر أيهما أكبر في حالة الصخر اللين ، ويوضح الشكل رقم (٥) أهمية أن يكون عمق الجسات مخترقاً لطبقات التربة المختلفة .



شكل رقم (٥) طريقة تحديد عمق الجسات

٧ - عينات التربة

١ - ٧ - أماكن استخراج العينات :

تستخرج العينة الأولى من سطح الأرض مباشرة ، وتستخرج العينات التالية بمعدل عينة كل متر على الأقل ، وكذلك عند تغير الطبقات ، ويجب أخذ الحيطه والحذر حتى لا يحصل إغفال اكتشاف طبقات من التربة ذات سماكات صغيرة ، كما يجب أن تكون كمية العينات كافية لإجراء الاختبارات المطلوبة .

٢ - ٧ - أخذ العينات :

يعتبر أخذ العينات من أهم مراحل الأعمال الجيوتقنية ، ولا تقل أهميته عن الاختبارات التي ستجري عليها ، لذا فإنه من الضروري تحري الدقة والحيطه عند أخذ العينات وطريقة تعبئتها لتكون عينات ممثلة لطبيعة التربة الأصلية ، ويتم أخذ عينات في التربة المفككة والمتماسكة إما المقلقلة أو غير المقلقلة ومن أماكن تخزين التربة Stockpiles على النحو التالي :-

١ - عينات التربة المفككة Cohesionless Soil Sampling :

من الصعب الحصول على عينات غير مقلقلة في التربة المفككة كالتربة الرملية أو التربة التي بها نسبة كبيرة من الركام ، وتؤخذ عينات بحد أدنى من القلقله بواسطة أنابيب أخذ العينات الرقيقة الحواف ، وفي بعض الأحيان يتم أخذ العينات عن طريق تجميد المنطقة المحيطة بالعينة ، ولصعوبة الحصول على عينات جيدة فإنه يجري عادة عمل بعض الاختبارات الحقلية في الموقع ، ويتم أخذ العينات المقلقلة إما يدوياً باستخدام أدوات الحفر اليدوية مثل الكريك والبريمة Auger أو آلياً باستخدام معدات الحفر الآلية بالأعماق التي يحددها المهندس المشرف ، وذلك لعمل اختبارات الوحدة الوزنية والوزن النوعي للتربة وتصنيف التربة والتحليل الميكانيكي وتحديد نسبة تحمل كاليفورنيا والاختبارات الكيميائية وغيرها في المعمل .

٢ - العينات المقلقلة Disturbed Sampling :

وهي العينات التي يكون فيها بنية التربة متفككة وخواصها الميكانيكية قد تغيرت أثناء أخذ العينة ، ويمكن أخذها بالطريقة اليدوية . أما في التربة المتماسكة فيمكن أخذها أثناء الحفر بالمتقاب أو بالمتقاب وماسورة التغليف . أما في الصخر فإنه يمكن أخذ العينات أثناء الحفر بطريقة الاجتراف أو الطرق أو الحفر الدوراني .

٣ - العينات الغير مقلقلة Undisturbed Sampling :

وتكون عينات التربة هذه محتفظة ببنيتها وخواصها الأصلية ، ويمكن الحصول عليها من التربة المتماسكة بطريقة القطع باليد للحصول عليها كتلة واحدة عن طريق أنبوب استخراج العينات ذو الحافة القاطعة . أما في التربة الصخرية فيتم الحصول عليها بطريقة الحفر الدوراني حيث يتم الحصول على عينة مستمرة على عمق الحفر بواسطة الجهاز نفسه .

٤ - عينات التربة من الأكوام وأماكن التخزين Stockpiles Sampling :

في حالة وجود التربة على شكل أكوام في أماكن التخزين أو حول أماكن الحفر يجب تحري الدقة والحذر في أن تكون العينات ممثلة حيث إن طريقة وضعها على شكل أكوام يساعد على تفرقة حبيبات التربة وتدريج المواد الخشنة Coarse Aggregates إلى أسفل الكوم ، لذلك لابد من أخذ العينات من عدة أماكن متفرقة في الكوم مع ضرورة إزالة الطبقة العلوية من الكوم والتي تعرضت للعوامل الجوية وتفرقة في الجزيئات ، أما في حالة أخذ العينات من الحفر والخنادق Trenches فيتم أخذ العينات من جانبي الحفرة ومن أسفلها من أماكن متفرقة . وعند ملاحظة وجود طبقات مختلفة للتربة فإنه يلزم أخذ عينات ممثلة لكل طبقة على حدة بنفس الطريقة السابقة مع أهمية تسجيل البيانات أولاً بأول .

٥ - عينات الصخور Rock Sampling :

عند استخراج عينات الصخور يتم استخدام الأجهزة الخاصة باستخراج عينات التربة بعد استبدال أجهزة الحفر بالصخور ، ويستحسن استشارة من له خبرة ومعرفة في جيولوجيا المنطقة وأنواع الصخور الموجودة لتحديد مدى قوة وتحمل الصخر ومدى الحاجة لأخذ عينات منه . وفي الصخور المتماسكة يتم أخذ عينات اسطوانية لإجراء تجارب الضغط عليها ، أما في حالة الصخر اللين والهش فيمكن استخراج العينات بعد حقنها بالأسمنت لربط أجزاء الصخر مع بعضها ، ويمكن من خلال وضع الأسمنت في الحفر المتجاورة معرفة اتجاه وترتيب التشققات في الطبقات الصخرية .

٦ - ٣ - تعبئة العينات :

يتم تعبئة العينات فور الحصول عليها بأوعية يحكم إغلاقها مثل الأوعية البلاستيكية أو في أكياس من البلاستيك ، ومن ثم توضع داخل أكياس من النسيج مع أخذ الحيط والحذر بعدم دكها عند إدخالها بالكيس ، ويجب أن تملأ العينة الوعاء ما أمكن ، وفي حالة كون العينة من العينات المستمرة كعينات الصخور فيتم حفظها في علب ذات تقسيمات بأقطار مناسبة بحيث تمسك بالعينات دون ضغطها ، أما في حالة استخراج العينات الغير مقلقة فيجب حماية هذه العينات بطرق مناسبة من الجفاف أو من تغير حجمها أو إنزلاقها في الوعاء ، وبالنسبة للعينات المأخوذة من التربة المتماسكة والمقطوعة على هيئة مكعبات فإنه يمكن أن تغطي العينات جيداً بطبقة أو أكثر من الشمع ، وتوضع كل عينة على حدة في غلاف خارجي له نفس أبعادها من الخشب أو ما شابهه لحمايتها أثناء النقل .

٧ - ٤ - نقل وتخزين العينات :

في جميع الأحوال يجب تسجيل البيانات التالية عند أخذ العينات :

- الموقع العام مع إيضاحه على رسم كروكي .
- المعلومات العامة عن المشروع .
- رقم الحفرة وأبعادها .
- عدد العينات وأماكن استخراجها .
- تاريخ أخذ العينة وحالة الطقس .
- طريقة أخذ العينات .
- المساحة أو الكمية التقريبية .
- منسوب المياه الجوفية في حالة اكتشافه .
- وصف عام للتربة .

- أية معلومات أو ملاحظات أخرى يراها من يقوم على أخذ العينات .

وتوضع الأنابيب في أرفف خشبية مخصصة لهذا الغرض ، وذلك للتأكد من وضعها في موضع رأسي وعدم تحريكها أثناء النقل ، وتبقى على هذا الوضع حتى يتم استلامها من قبل فنيي المعمل ، ويجب أيضاً حماية العينات من أشعة الشمس والحرارة العالية ، وكذلك من التجمد وحمايتها أثناء النقل من الاهتزازات ومن تحطم حاويات العينات ، ويفضل إرسال العينات الغير مقلقة إلى المعمل فور استخراجها وتخزينها في أماكن معتدلة الحرارة . وتؤثر طريقة أخذ العينات ونقلها أو طريقة تجهيزها للاختبارات المعملية وخصوصاً العينات الغير مقلقة منها على

نتائج اختبارات القص ، وذلك بزيادة في ضغط الماء الزائد Excess Pore Water Pressure أو انخفاض في قيمة الضغط الفعلية Stresses Effective ولحماية العينات من هذه القلقة لابد من اتباع مايلي :

– استخدام أنابيب أخذ العينات ذات الحافة الرقيقة والتي تكون نسبة المساحة للقطر الخارجي والداخلي لحافة الأنبوبة فيها من ١٠ – ١٥ .

- أن تكون نسبة طول العينة إلى قطرها أقل من ٤ .
- التقليل من كمية الاحتكاك داخل أنبوبة أخذ العينات .
- المحافظة على العينات عند نقلها من الحركة والاهتزازات .
- المحافظة على العينات عند قصها وتجهيزها للاختبار في المعمل والحرص على عدم دكها .
- المحافظة على نسبة الرطوبة الطبيعية لعينات التربة .
- استخدام أنبوب أخذ العينات من نوع المكبس Piston-Sampler كلما أمكن ذلك .
- استخدام سائل كثيف أو وحل عند أخذ عينات الطين الناعمة .

٨ – تحديد منسوب المياه الجوفية

Ground Water Table Location

يعتبر تحديد منسوب المياه الجوفية من الأعمال المهمة للدراسات الجيوتقنية وخصوصاً إذا ما كان منسوب المياه في نطاق تنفيذ الأساسات حيث إن معظم المشاكل الفنية التي لها علاقة بالتربة تكون بسبب المياه الجوفية ، ويتم قياس منسوب المياه فور اكتشافها ، ثم تقاس يومياً عند بداية ونهاية يوم العمل ، وكذلك في فترة انقطاع طويلة (إذا حدث ذلك) ثم تقاس قبل ردم مكان الجسة ويتم تسجيل النتائج ، وإذا تبين وجود تذبذب في منسوب المياه فإنه يجب معرفة متى وعلى أي عمق يحصل هذا التذبذب وما هي مناسيب الماء في بدايته ونهايته ، ويحدد منسوب المياه الجوفية بالمنسوب الذي يثبت سطح المياه الحر عنده ، ويترك فترة زمنية مناسبة للسماح للمياه بالارتفاع داخل ماسورة الجسة إلى المنسوب الأصلي للمياه الجوفية ، وتكون هذه الفترة عادة (٢٤) ساعة للتربة متوسطة النفاذية ، أما التربة الضعيفة النفاذية كالتربة الطينية فتتمدد هذه الفترة إلى عدة أيام أو أسابيع ، ويمكن أيضاً تثبيت أنبوبة "بيزوميترية" في ثقب الجسة وملاحظة منسوب المياه الجوفية على فترات زمنية وتسجيل أية تغيرات والتأكد من المنسوب النهائي ، و إذا حصل أثناء الحفر أن ثقت طبقة تربة حاجزة للمياه وكان أسفلها مخزون ماء طبيعي فلا بد من إعادة وضع هذه الطبقة إلى الوضع الأصلي بعد الانتهاء من عمل الجسات وأخذ العينات ، وتؤخذ عينات من المياه الجوفية من أعماق مختلفة لإجراء التحاليل الكيميائية عليها ، ويفضل إرسال العينات إلى المعمل فور الحصول عليها ، ولا يلتفت للعينات التي تم استخراجها منذ مدة أطول من أسبوع ، ويتم حمايتها من الحرارة والبرودة وأشعة الشمس أثناء النقل والتخزين ، وفي حالة وجود منسوب المياه الجوفية مرتفعاً ويغطي مستوى الأساسات فلا بد من أن يحتوي تقرير الدراسة على التوصيات اللازمة للطرق الفنية لنزح المياه الجوفية أثناء عملية الحفر للأساسات والبناء وطريقة عزلها عن المياه .

٩ – الاختبارات الحلقية

Field Testings

يتطلب الأمر إجراء بعض الاختبارات الحلقية الضرورية على التربة في الموقع حسب الحاجة والتي منها :

٩ – ١ – اختبار الاختراق القياسي SPT , Standard Penetration test :

يعد هذا الاختبار من الاختبارات المهمة لتحديد مقاومة التربة الرملية أثناء تنفيذ الجسة وهو من أسهل الطرق وأفضلها لمعرفة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي وكثافة التربة الرملية . ويتلخص عمل هذا الاختبار في إسقاط مطرقة خاصة وزنها ٦٣,٥ كجم من ارتفاع ٧٦٠ مم على أنبوبة الجهاز لتدخل مسافة ٤٦٠ مم في التربة ومن ثم حساب عدد الدقات (N) لاختراق آخر ٣٠٥ مم ويتم إيقاف الاختبار في حالة الحصول على ١٠٠ دقة أو ١٠ دقات متتالية بدون

اختراق ، وفي بعض الأحيان يتم تسجيل عدد الدقات التي يتم الحصول عليها منسوبة إلى ١٠٠ بمعنى أنها عدد الدقات التي اخترقت ١٠٠ مم . وبالرغم من أن هذا الاختبار قد وضع أساساً للتربة المفككة لصعوبة الحصول على عينات غير مقلقة للرمال إلا أن هذا الاختبار قد ينفذ في التربة المتماسكة ، ويجب الحذر عند استخدام نتائجه في هذه الحالة وذلك لعدم دقة النتائج لاحتواء التربة المتماسكة على الماء .

٩ - ٢ - اختبار الاختراق الاستاتيكي CPT , Cone Penetration test :

يستخدم هذا الاختبار في جميع أنواع التربة ماعدا التربة الطينية القاسية والركامية ، ويجرى الاختبار بدفع مخروط الجهاز إلى التربة بسرعة ١٠ إلى ٢٠ مم /دقيقة وقياس مقاومة رأس المخروط ومقاومة احتكاك جوانب ماسورة مثبتة أعلى المخروط ، وتستخدم نتائج هذا الاختبار في تقدير حمل خوازيق الارتكاز والاحتكاك المستخدم في الأساسات العميقة ، ويمكن أيضاً تقدير تحمل التربة وتقدير الهبوط للأساسات ، ويأتي الجهاز في عدة أنواع منها المخروط السيزمي والذي يمكن من خلاله قياس معامل القص الديناميكي .

٩ - ٣ - اختبار مقياس الضغط Pressuremeter :

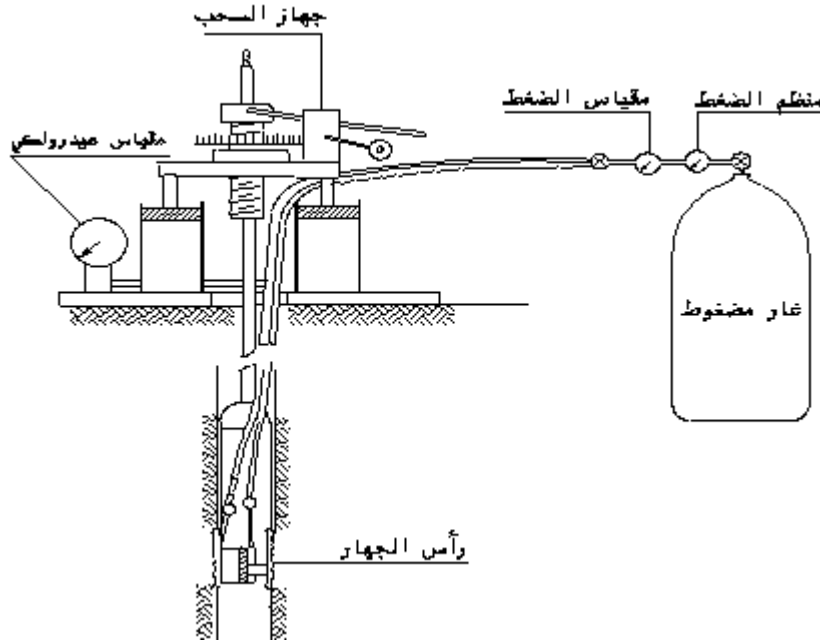
يتكون جهاز مقياس الضغط من جزئين رئيسيين هما : المجس Probe وجهاز قياس الضغط الحجمي Pressure - Volumeter موصلين بأنبوبية بلاستيكية يمر من خلالها الماء أو الغاز ، ويعمل الجهاز عن طريق تسجيل التغير الحاصل في الضغط والحجم ورسمها في منحنى والتي يمكن من خلالها تحديد الثوابت المرنة للتربة Elastic Constants ومعامل القص للتربة Shear Strength ويستخدم هذا الاختبار في التربة الناعمة .

٩ - ٤ - اختبار القص الدوراني Vane Shear :

يستخدم هذا الاختبار لتحديد معامل القص للتربة ضعيفة التباين والحساسية والضعيفة والمغمورة بالمياه التي لا يمكن أخذ عينات منها لإجراء الاختبارات المعملية ، ويعمل الجهاز عن طريق قياس عزم اللي Torque اللازم عند إدخال الريش الموجودة في مؤخرة الجهاز Vanes في التربة حتى الامتناع وتحليل المعلومات المسجلة لتحديد مقاومة التربة للقص .

٩ - ٥ - اختبار مقاومة التربة القص Borehole Shear Device :

يستخدم الاختبار لجميع أنواع التربة ذات الحبيبات الدقيقة بحفر حفرة قطرها ٧٦ مم رأسية أو أفقية أو مائلة لعمق أكبر من المكان المراد قياس مقاومة التربة فيه ، وبعد ذلك يتم إدخال رأس الجهاز بعناية في الحفرة إلى النقطة المراد قياس مقاومة التربة فيها ، ثم يفتح قسما الجهاز الموجودة في اسطوانة ، ويتم الضغط على السطح عن طريق الأنابيب ، ثم تسحب الإسطوانة ويسجل مقدار السحب والمسافة والضغط والتي منها يتم تقدير مقاومة التربة للقص ، ويوضح الشكل رقم (٦) جهاز اختبار مقاومة التربة في الحقل .



شكل رقم (٦) جهاز اختبار مقاومة التربة للقص في الحقل

٩ - ٦ - اختبار مقياس التمدد الحراري Dilatometer :

يتكون جهاز الاختبار من مجس وغشاء مطاطي قابل للتمدد ، وتستخدم فيه أجهزة الاختراق القياسي أو الاستاتيكي لدفع الجهاز في الجسة للأعماق المطلوبة ، ويعمل جهاز الاختبار عن طريق إدخال المجس إلى العمق المطلوب إجراء الاختبار عليه ، ومن ثم زيادة الضغط تدريجياً حتى يمتد الغشاء المطاطي بمقدار ١,١م إلى التربة المجاورة ، ثم إنقاص الضغط بمثل ضغط الماء الزائد في التربة Excess Pore Water Pressure ثم تكرر العملية على عمق يزيد عن العمق الأول بـ ١٥٠ إلى ٢٠٠م وتسجل المعلومات ، وهكذا حتى يتم الوصول إلى الأعماق المطلوبة . ويعتبر هذا الاختبار سريعاً حيث يمكن الوصول إلى عمق ١٠م في خلال نصف ساعة من بداية الاختبار ، ويستخدم هذا الاختبار للحصول على جميع معاملات التربة الضرورية .

٩ - ٧ - اختبار تحديد نفاذية التربة Field Permeability :

يستخدم في هذا الجهاز مقياس الضغط Piezometer لقياس نفاذية التربة عن طريق أنابيب المياه القائمة برفع وخفض الماء من موقع التوازن وأخذ قراءات في فترات متقطعة لمستوى الماء مع الوقت اللازم للوصول إليه حتى يعود منسوب الماء إلى موقع التوازن الأصلي ، وتحليل هذه المعلومات لاستنتاج معامل النفاذية K .

٩ - ٨ - اختبار الوحدة الوزنية الجافة للتربة Dry Unit Weight , gd :

تعتبر الوحدة الوزنية الجافة من أهم معاملات التربة التي تستخدم في الحسابات الهندسية للتربة وفي عمليات الدك والجودة الفنية لها ، وهناك عدة طرق لتحديد قيمة الوحدة الوزنية الجافة في الحقل منها طريقة الرمل والقمع Sand - Cone والطريقة النووية Nuclear باستخدام الجهاز النووي وغيرها ، وتساوي الوحدة الوزنية الرطبة للتربة وزن التربة على حجمها ، وعند معرفة نسبة الرطوبة للتربة يتم حساب الوحدة الوزنية الجافة باستخدام المعادلة التالية :

الوحدة الوزنية الجافة للتربة = $g d =$ الوحدة الوزنية الرطبة للتربة (1) ÷ (wet g + نسبة الرطوبة) .

٩ - ٩ - اختبار القرص المحمل Plate Bearing Test :

يستخدم هذا الجهاز لقياس قدرة تحمل التربة لمواد الرصف والأحمال المارة عليها ، ويستخدم في الاختبار أقراص معدنية مستديرة أقطارها ٣٠٠، ٤٥٠، ٦٠٠، ٧٥٠ مم ويتم تحميل هذه الأقراص بواسطة رافعة ميكانيكية أو هيدروليكية ، ويقاس مقدار هبوط الأقراص بمؤشرات من ثلاثة إلى أربعة ، والذي منه يستنتج مقدار الجهد الواقع على التربة أسفل القرص .

٩ - ١٠ - اختبار تحديد دليل قوة تماسك الصخر (Rock Quality Designation)(RQD) :

في هذا الاختبار يمكن معرفة قوة تماسك الصخر ووصف كمية التكسر في الموقع ، وتتلخص الطريقة في حساب أطوال قطع الصخر المستخرجة من الحفر الاختبارية داخل أنبوبة العينة والتي يزيد أطوالها عن ٤ بوصة (١٠,١٦م) وقسمته على طول العينة ، وهذه النسبة تمثل المرادود من الصخر ، ويمكن وصف قوة الصخور بناء على هذه النسبة كما هو موضح بالجدول رقم (١) .

جدول رقم (١)

وصف قوة الصخور

نسبة المرادود من الصخر	قوة تماسك الصخر
0 - 25	ضعيف جداً
25 - 50	ضعيف
50 - 75	مقبول
75 - 90	جيد
90 - 100	ممتاز

١٠ - الاختبارات المعملية

١٠ - ١ - تجهيز العينات :

- يتم تجهيز العينات في الاختبارات المعملية على العينات المقفلقة بالطريقة التالية :
- أخذ عينات لتحديد المحتوى المائي للعينات فور وصولها للمعمل .
- يتم تجفيف عينات التربة الواردة من الحقل بإحدى الطريقتين التاليتين :

- أ - فردها في الخارج وتعريضها لأشعة الشمس والهواء حتى تجف .
- ب - تجفيفها في فرن لا تزيد درجة حرارته عن 60° درجة مئوية .

- يتم تقنيت وتجزئة التربة المتحجرة باليد أو بأجهزة خفيفة مخصصة لذلك مع أخذ الحيطة والحذر بعدم الإضرار بالحجم الأصلي ثم تمزج التربة جيداً .
- يتم تجهيز التربة الممثلة للاختبار وفقاً لطريقة تجهيز العينات الموضحة أدناه .
- تنخل التربة الممثلة بالمناخل المطلوبة حسب نوع الاختبار .

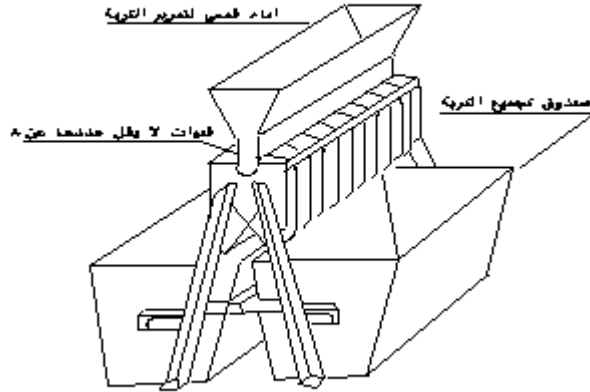
١٠ - ٢ - طريقة التجهيز :

- يتم تجهيز التربة لعمل الاختبارات المعملية حسب طريقة أخذ العينات إما مقفلقة أو غير مقفلقة وفقاً لما يلي .
- العينات المقفلقة والمفككة :

يتم تجهيز كمية التربة اللازمة حسب الطريقتين التاليتين :

أ - استخدام صندوق التقسيم Box Riffle

وهو عبارة عن جهاز يحتوي على عدد من القنوات المائلة وهي متساوية العروض ولا يقل عددها عن ٨ قنوات عند استخدام التربة الخشنة أو ١٢ قناة عند استخدام التربة الناعمة لتقسيم التربة إلى قسمين متكافئين ، ومزود بإبائين لتجميع التربة المقسومة وإناء قمعي لتمرير التربة لقنوات التقسيم ، ويوضح الشكل رقم (٧) صندوق التقسيم وتتمثل طريقة التجهيز بتمرير التربة من خلال الإناء المخروطي بعد فردها بشكل منتظم وببطء شديد (حتى لا تتطاير حبيبات التربة الناعمة) للحصول على قسمين متكافئين . وتكرر العملية لأي قسم لحين الوصول إلى الكمية المطلوبة .



شكل رقم (٧)
صندوق التقسيم

ب - طريقة التربيع Quartering

وهي طريقة سهلة وتتمثل في فرد التربة على سطح نظيف ومستوى ، ثم تمزج التربة جيداً وتشكل على شكل كوم مخروطي باستخدام الأدوات اليدوية وتساوى التربة بسماكة منتظمة ، وتقسّم إلى أربعة أقسام متساوية تقريباً ، ويستبعد منها القطرين المتقابلين ثم تمزج التربة المتبقية ، وتكرر العملية للحصول على الكمية المطلوبة ، ويوضح الشكل رقم (٨) طريقة التربيع .

العينات الغير مقفلقة :

أما في العينات الغير مقفلقة فيتم تجهيز العينات لإجراء الاختبارات المعملية عليها حسب نوع الاختبارات والمواصفة القياسية المتبعة في ذلك .

شكل رقم (٨) طريقة التريبع

١٠ - ٣ - كمية العينات :

تعتمد كمية العينات على أنواع الاختبارات وعددها ، ويستحسن أخذ عينات كافية حسب ماتطلبه المواصفات القياسية لكل اختبار ، وذلك لإجراء بعض الاختبارات المعملية الضرورية على التربة حسب الحاجة .

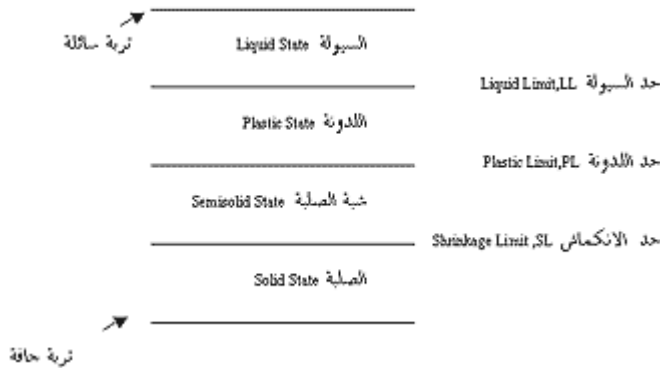
١٠ - ٤ - الاختبارات :

١ - تحديد نسبة الرطوبة W_c , Water Content :

يتم تحديد نسبة الرطوبة في التربة اللزجة Cohesive Soils للعينات المستخرجة من الحفر الاختبارية من أجل معرفة كمية الماء التي تحتويها التربة الطبيعية ، ولعمل الاختبارات لتحديد حد السيولة (Liquid Limit , LL) وحد اللدونة (Plastic Limit , PL) المستخدمة لتصنيف التربة ، وتستخدم أيضاً في تحسين خواص التربة . ويعتبر تحديد نسبة الرطوبة من المتطلبات الأساسية لتقارير التربة ، وتصل نسبة الرطوبة الطبيعية في التربة الرملية أو الركامية من ١٥ إلى ٢٠٪ بينما قد تصل النسبة في التربة الطينية والطينية من ٨٠ إلى ١٠٠٪ وفي التربة العضوية قد تصل هذه النسبة إلى ٥٠٠٪ .

٢ - حدود أتبرج Atterberg Limits :

قام العالم السويدي " أتبرج" بتحديد أربعة من حدود التماسك للتربة اللزجة وهي السيولة واللزوجة والشبه صلابة والصلبة ، واعتبر أن الحد الفاصل بين السيولة واللدونة هو حد السيولة Liquid Limit, LL والحد الفاصل بين اللدونة وشبه الصلابة هو حد اللدونة Plastic Limit, PL والحد الفاصل بين شبه الصلابة والصلابة هو حد الانكماش Shrinkage Limit, SL حسب الشكل الموضح أدناه .
وبعد استخراج هذه الحدود بالاختبارات الروتينية باستخدام الأجهزة المخصصة لذلك يتم إيجاد معامل (دليل) اللدونة (Plasticity Index, PI = LL- PL) والذي يستخدم في معرفة تصرف التربة Soil Behavior وكذلك في معادلات الربط لقوة تحمل التربة ومعرفة ما إذا كانت التربة انتفاخية أو انهيارية .



ويتم أيضاً تحديد دليل السيولة (wc-PL) / (LL-PL) = Liquidity Index, LI والذي من خلاله يمكن الحكم على ظاهرة تميع التربة Liquefaction of Soil عندما يكون دليل السيولة لها أكبر من (1) (LL > 1)

٣ - التدرج الحبيبي للتربة (Sieve Analysis) Grain Size Distribution :

يستخدم اختبار التدرج الحبيبي (الميكانيكي) في تصنيف التربة عن طريق التحليل المنخلي لها Sieve Analysis باستخدام المناخل التي تتراوح فتحاتها من ١٠٠ مم (4") إلى ٠,٠٧٥ مم منخل رقم (٢٠٠) حسب المواصفات الأمريكية كما هو موضح في الجدول رقم (٢) ومقياس الثقل النوعي Hydrometer للتربة التي تمر خلال منخل رقم (٢٠٠) ورسم منحنى التدرج ، ومنه تحديد نسب المواد المكونة للتربة والتي من أهمها نسبة المواد الطينية .

جدول رقم (٢)

المناخل المستخدمة في التدرج الحبيبي

رقم المنخل	(مقياس الفتحات) (مم)
4"	100
3"	75
2"	50
1.5"	37.5
1"	25
0.75"	19
0.50"	12.5
0.375"	9.5
4	4.75
10	2
20	0.850
40	0.425
80	0.180
200	0.075

٤ - الوحدة الوزنية للتربة Unit Weight, g :

يتم إيجاد الوحدة الوزنية للتربة للزجة في المعمل بطريقة الإزاحة ، وذلك بقطع كتلة من التربة لمقياس معين ووزنها ثم وضعها في إناء لتحديد الحجم ومعرفة كمية الماء المطلوبة لملء الإناء حسب المعادلة التالية :
الوحدة الوزنية للتربة = وزن عينة التربة / (حجم الإناء - حجم الماء المتبقي في الإناء) .
وتستخدم الوحدة الوزنية في حساب ضغط حمل التربة Overburden Pressure المستخدم في حساب مقدار انضغاط التربة وتحديد الضغط الجانبي للحوائط الاستنادية ومعامل الاحتكاك للخوازيق .

٥ - الكثافة النسبية Dr, Relative Index :

وتسمى أيضاً بدليل الكثافة Dr, Relative Index وتستخدم الكثافة النسبية عادة للتربة المفككة عن طريق تحديد نسبة الفراغات الطبيعية والصغرى والكبرى Ratios, e Void للتربة ولصعوبة تحديد نسبة الفراغات في التربة فإنه يتم حساب الكثافة النسبية كما يلي :

$$= Dr \text{ الكثافة النسبية}$$

الكثافة القصوى (كثافة التربة في الحقل - الكثافة الصغرى) ÷

كثافة التربة في المعمل (الكثافة القصوى - الكثافة الصغرى)

$$gd \text{ max } (gd - gdmin) / gd \text{ (gd max - gd min) = Dr}$$

حيث إن

Dr : الكثافة النسبية للتربة .

gd max : الكثافة القصوى .

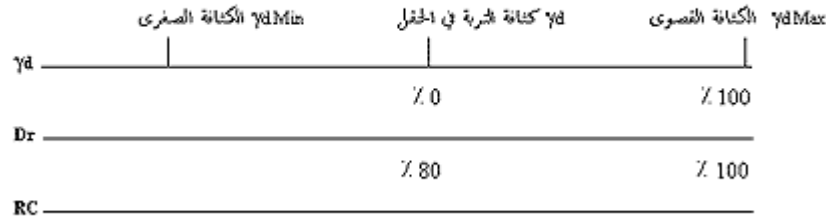
gd : كثافة التربة في الحقل
gd min : الكثافة الصغرى .

وتستخدم الكثافة النسبية في حساب نسبة الدك ولتقدير قوة تحمل التربة ، كما تستخدم في حساب قوة تميع التربة تحت أحمال الزلازل ، ويبين الجدول رقم (٣) بعض القيم للكثافة النسبية :

جدول رقم (٣)
الكثافة النسبية للتربة

الكثافة النسبية	التربة
0 – 0.20	Very Loose مخلخلة جداً
0.20 – 0.40	Loose مخلخلة
0.40 – 0.70	Medium متوسطة الدك Compact
0.70 – 0.90	Compact مدكوكة
0.90 – 1	Very Compact مدكوكة جداً

العلاقة بين الكثافة النسبية والكثافة ونسبة الدك



نسبة الدك RC = كثافة التربة في الحقل ÷ كثافة التربة في المعمل .

٦ – الوزن النوعي , Specific Gravity , SG :

يستخدم الوزن النوعي في حساب نسبة الفراغات في التربة عند معرفة نسبة الرطوبة ووحدة الوزن ، وهذا الاختبار من الاختبارات الصعبة والتي يمكن الاستعاضة عنه باستخدام القيم الموضحة في الجدول رقم (٤) نظراً لتقاربها :

جدول رقم (٤)
الوزن النوعي لأنواع التربة

نوع التربة	الوزن النوعي
ركامية	2.65 – 2.68
رملية	2.65 – 2.68
طينية	2.62 – 2.68
طينية عضوية	2.58 – 2.65
طينية غير عضوية	2.68 – 2.75
العضوية التربة	أقل من ٢

وفي العادة تكون قيمة الوزن النوعي ٢,٦٧ للتربة المفككة و ٢,٧٠ للتربة الطينية الغير عضوية.

٧ – اختبار الدك (Proctor) Test : Compaction

يتم في اختبار الدك تحديد العلاقة بين الوحدة الوزنية الجافة للتربة gd ونسبة الرطوبة WC ومن ثم تحديد الوحدة الوزنية الجافة العظمى Maximum Dry Unit Weight , gd Max ، ونسبة الرطوبة القصوى Optimum Moisture Content, OMC للتربة باستخدام طريقتين حسب اختبار "بروكتر" وذلك من أجل تحديد الطاقة التي تتعرض لها التربة في الدك في المعمل لتمثيلها على الطبيعة باستخدام أدوات ومعدات الدك

المختلفة ، والطريقتين المستخدمتين للدك هما :
 ١ - اختبار بروكتر القياسي Standard Proctor Test
 ٢ - اختبار بروكتر المعدل Modified Proctor Test
 ويمثل الجدول رقم (٥) الفرق بين الأجهزة المستخدمة في الطريقتين :

Mould القالب	Standard القياسي		Modified المعدل	
	" قالب ٤	" قالب ٦	" قالب ٤	" قالب ٦
(القطر) مم	101.60	152.4	101.60	152.4
(الطول) مم	116.43	116.43	116.43	116.43
(الحجم) سم ^٣	944	2124	944	2124
وزن المطرقة (نيوتن)	24.5	44.5	24.5	44.5
عدد الضربات	25	56	25	56
عدد الطبقات	3	3	5	5
ارتفاع المطرقة (مم)	305	305	457	457

ويتم حساب الطاقة المبذولة في عملية الدك كما يلي :

$$\text{الطاقة المبذولة في الدك (كيلوجول / م^٣)} =$$

$$\text{(عدد الطبقات } \times \text{ عدد الضربات } \times \text{ الارتفاع } \times \text{ وزن المطرقة) } \div \text{ حجم القالب}$$

فمثلاً الطاقة المبذولة في الطريقة القياسية باستخدام قالب قطره ١٠١,٦٠ مم = ٥٩٣,٧ كيلوجول/م^٣ ، وعند تمثيل الطريقتين على رسم بياني نجد أن في الطريقة المعدلة تكون الوحدة الوزنية الجافة العظمى أكبر ونسبة الرطوبة القصوى أقل .

ويمثل المستقيم الأيمن لمنحنيات الدك مستقيم نسبة الرطوبة العظمى عندما تكون التربة خالية من الهواء Zero Air Voids عندها تكون التربة مشبعة تماماً بالماء ، ويتم رسم هذا المستقيم من المعادلة التالية :

$$\text{الوحدة الوزنية } gZAV =$$

$$\text{(الوحدة الوزنية للماء) } \times \text{ (الوزن النوعي) } \div (١ + \text{ نسبة الرطوبة } \times \text{ الوزن النوعي })$$

$$\text{الوحدة الوزنية للماء } g \text{ water} = 9.807 \text{ كيلونيوتن / م^٣ .}$$

٨ - تحديد نسبة تحميل كاليفورنيا California Bearing Ratio, CBR

وهو قياس الحمل اللازم لغرز إبرة ذات قطر معين وبسرعة في عينة التربة بمعرفة المحتوى المائي والكثافة ، ويعطي الاختبار معلومات عن مدى انتفاخ التربة ومقدار القوة المفقودة للتربة عندما تكون التربة مشبعة بالماء كما تعطي نسبة التحمل لكاليفورنيا تصوراً عن تصرف التربة تحت الأسفلت (مواد الأساس) ويمكن عمل الاختبار في الحقل أو في المعمل ، ويوضح الجدول رقم (٦) بعض القيم لنسبة التحمل :

جدول رقم (٦)

قيم نسبة تحمل كاليفورنيا

نظام أشتو AASHTO	النظام الموحد USC	مجال الاستخدام	تصنيف المواد	نسبة التحمل CBR
A5,A6,A7	OH,CH,MH,OL	الطبقة الأرضية	ضعيفة جداً	0 - 3
A4,A5,A6,A7	OH,CH,MH,OL	الطبقة الأرضية	ضعيفة	3 - 7
A2,A4,A6,A7	OH,CH,MH,OL	تحت الأساس	مقبولة	7 - 20
Alb,A5 - 2,A3,A6-2	GM,GC,SW,SM,SP,GP	أساس وتحت	جيدة	20 - 50

		الأساس		
أكبر من ٥٠	ممتازة	أساس	GW,GM	Ala,A4-2,A3

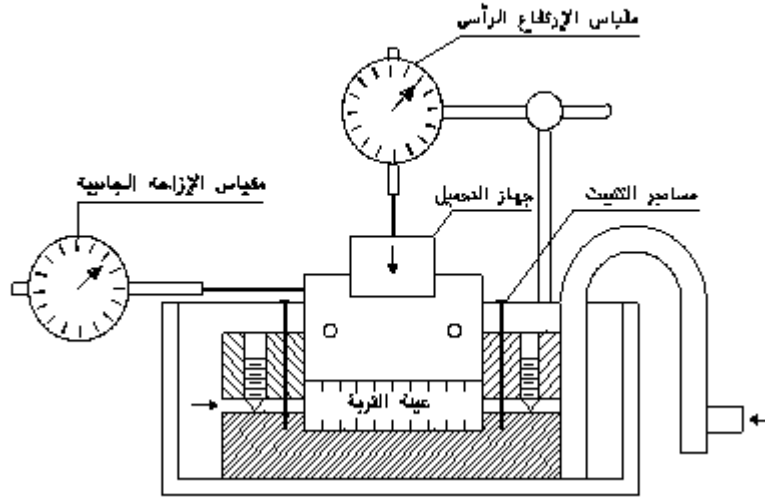
ويتم استخدام القيم القياسية الموضحة في الجدول رقم (٧) لتحديد مقدار الاختراق القياسي.
جدول رقم (٧)

(مقدار الاختراق) مم	(وحدة الوزن القياسية) ميغا بسكال
2.5	6.9
5.0	10.3
7.5	13.0
10.0	16.0
12.7	18.0

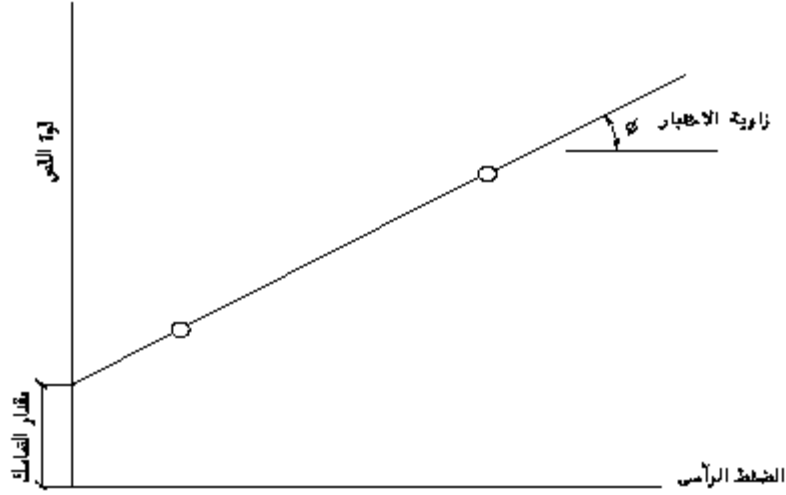
٩ - اختبار قوة قص التربة : Soil Shear Strength Tests

أ - اختبار قوة القص المباشر Direct Shear

يستخدم هذا الاختبار غالباً للتربة الرملية ، ويحتوي الجهاز على صندوق القص المقسوم إلى قسمين علوي وسفلي لوضع عينة التربة فيه وأداة قياس الأحمال الأفقية وأداة أخرى لقياس مقدار الإزاحة ، ويوضح الشكل رقم (٩) الجهاز المستخدم في ذلك ، ويتم الاختبار بزيادة الأحمال وتسجيل مقدار الإزاحة . ومن خلال هذه المعلومات يتم حساب مقدار قوة القص (t Shear Strength) وزاوية الاحتكاك (Angle of Internal Friction) (٩) والتماسك Cohesion C ويوضح الشكل رقم (١٠) طريقة حساب زاوية الاحتكاك ومقدار التماسك المستخرجة من نتائج الاختبار.



شكل رقم (٩)
جهاز اختبار قوة القص المباشر

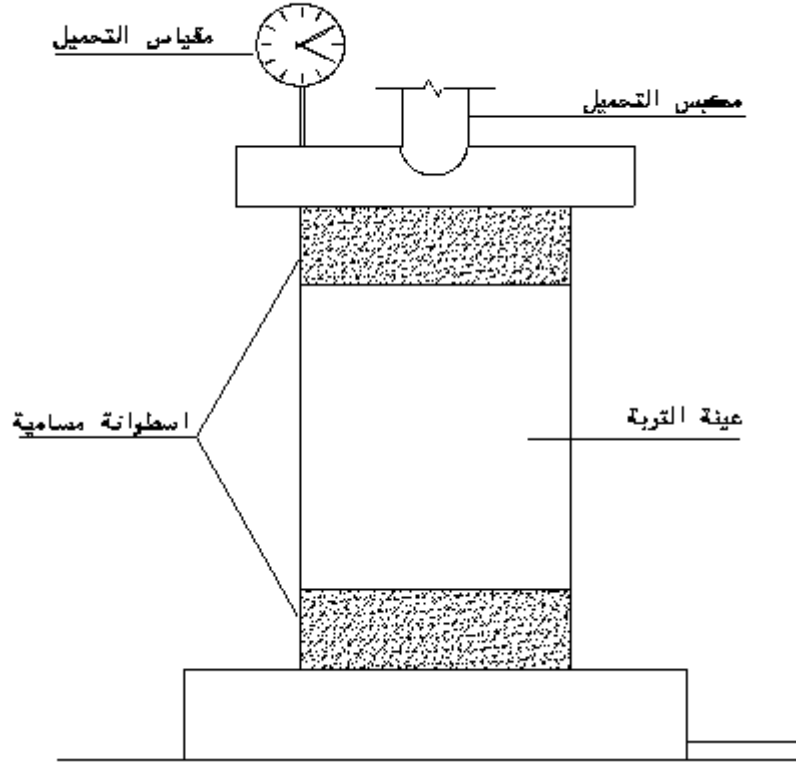


شكل رقم (١٠)

رسم يوضح طريقة حساب زاوية الاحتكاك ومقدار التماسك

ب - اختبار الضغط غير المقيد Unconfined Compression

يعتبر هذا الاختبار من أسهل وأرخص الاختبارات لتحديد قوة قص التربة ، ويتم وضع عينة التربة الاسطوانية بطول يعادل (٢,٥) من قطر العينة بجهاز الضغط ، ثم يتم تحميلها بقوة ضغط رأسية لتعطي إجهاداً من ٠,٥ إلى ٢ % في الدقيقة ، ويتم تسجيل الضغط والإجهاد حتى الضغط الذي تنكسر فيه العينة وهو قوة ضغط التربة (q) ومنه يتم تحديد مقدار التماسك ($C=q/2$) ويستخدم هذا الاختبار للتربة المتماسكة ويوضح الشكل رقم (١١) جهاز الاختبار .

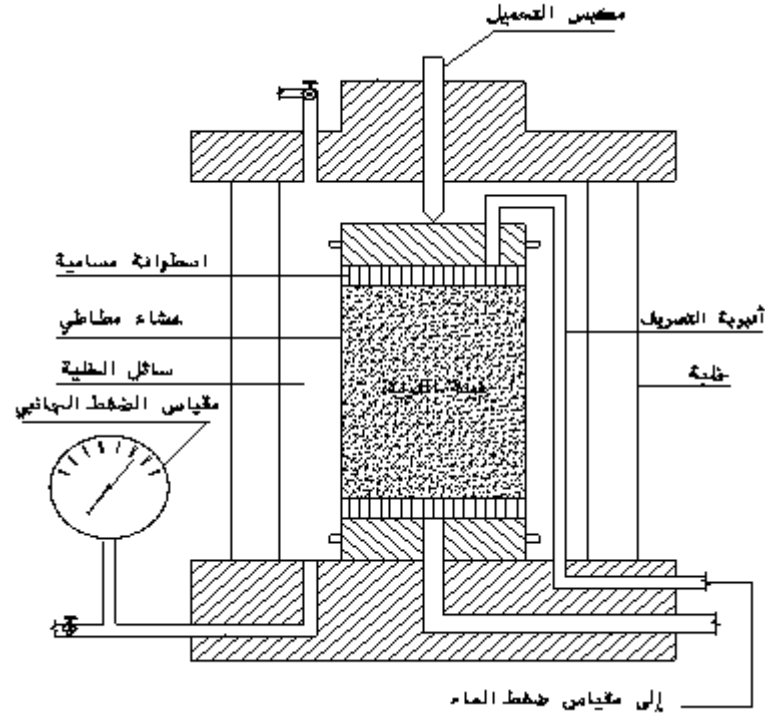


شكل رقم (١١)
جهاز اختبار الضغط غير المقيد

ج - اختبار الضغط ثلاثي المحاور Triaxial Compression

يتم عمل هذا الاختبار بطريقة مشابهة لاختبار الضغط غير المقيد ما عدا أن الضغط مقيد عن طريق إدخال العينة في خلية مغلقة ، وإدخال الهواء أو الماء المضغوط للعينة المحاطة بغشاء مطاطي ، ثم يتم تحميل العينة رأسياً حتى تنكسر ، ويسجل مقدار الضغط الرأسي والضغط الجانبي الثابت ، ويوضح الشكل رقم (١٢) الجهاز المستخدم في ذلك ، ويتم تكرار الاختبار بوضع عينة أخرى وزيادة الضغط الجانبي. ومن نتائج الاختبار يتم رسم دائرة " مور" ومنها يتم تحديد زاوية الاحتكاك ومقدار تماسك التربة ، وهناك ثلاثة أنواع لهذا الاختبار هي :

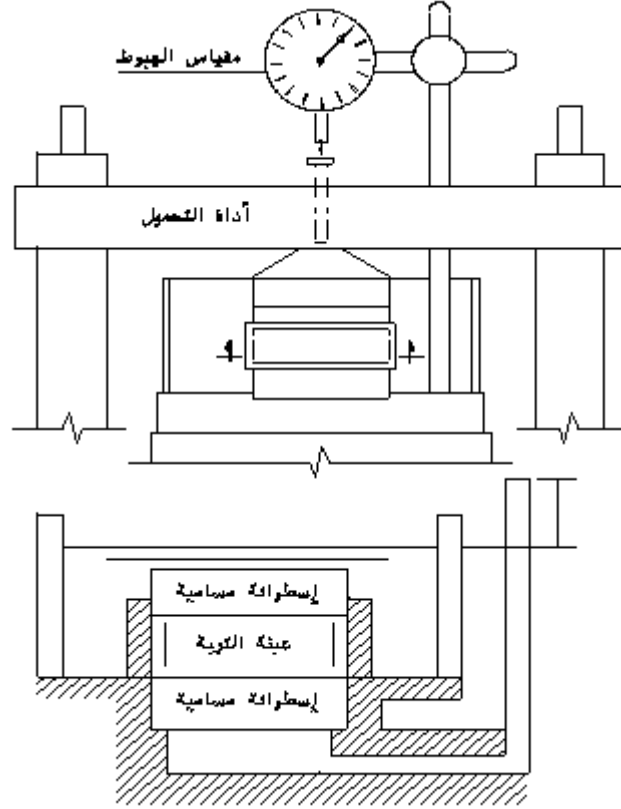
- مدمج ومسموح بتصريف المياه CD test .
- مدمج وغير مسموح بتصريف المياه CU test .
- غير مدمج وغير مسموح بتصريف المياه UU test .



شكل رقم (١٢)
جهاز اختبار الضغط ثلاثي المحاور

١٠ - اختبار الاندماج Consolidation :

يتم في اختبار الاندماج تحديد مقدار الهبوط والوقت الذي يستغرقه لذلك بوضع عينة التربة في حلقة معدنية ووضع اسطوانة مسامية على أعلى وأسفل الحلقة لتسمح بمرور الماء من خلالها ، ثم توضع في جهاز الاختبار الموضح بالشكل رقم (١٣) ، ويتم تحميل العينة وتسجيل مقدار الضغط والوقت حتى توقف الهبوط ، وعادة يتم ذلك في خلال (٢٤) ساعة من بداية الاختبار ، ويتم رسم ذلك بيانياً ، وتكرر العملية بمضاعفة الضغط وهكذا حتى يصل الضغط إلى ضغط أعلى من الضغط الذي سينتج عن تحميل التربة من المباني ، ومن الرسم البياني يتم تحديد معامل الاندماج Coefficient of Consolidation الذي يستخدم في تحديد مقدار الهبوط والوقت اللازم للحصول عليه باستخدام معادلات تحديد الهبوط .



شكل رقم (١٣)
جهاز اختبار الاندماج

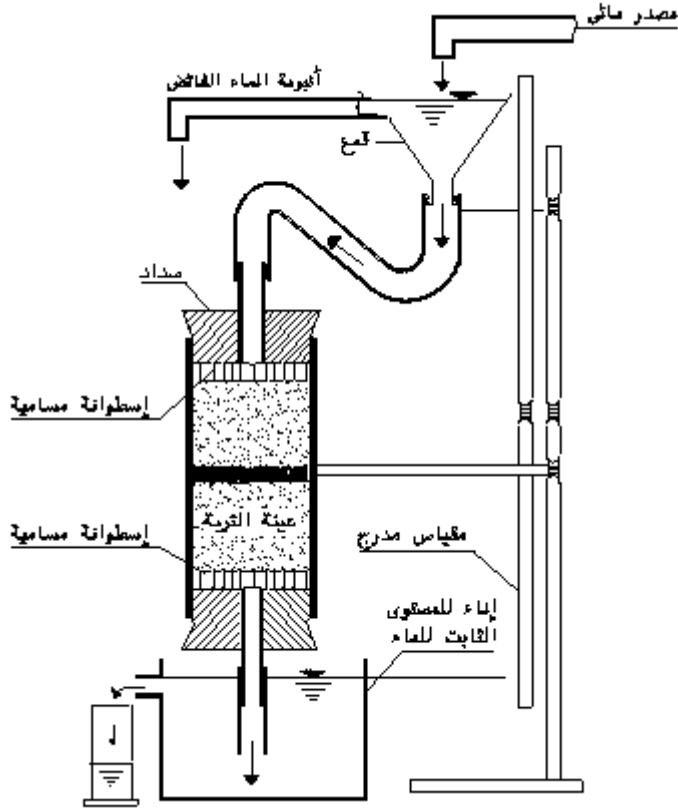
١١- تحديد معامل نفاذية التربة Permeability :

ويستخدم في ذلك جهاز النفاذية Permeability عن طريق اختبارين هما :

– اختبار المستوى الثابت ، شكل رقم (١٤ أ) Constant –Head Test .

– اختبار المستوى المتغير ، شكل رقم (١٤ ب) Falling –Head Test .

ومن هذين الاختبارين يتم تحديد معامل النفاذية k ، ويمكن استخدام جهاز الاندماج أو جهاز الضغط ثلاثي المحاور لتحديد هذا المعامل أيضاً ، ولا بد من توخي الحرص الشديد عند إجراء هذا الاختبار حيث إن هناك عوامل كثيرة تؤثر على تحديد قيمة المعامل من بينها تقلب درجة الحرارة ودرجة تشبع التربة بالماء والتي ينبغي أن تكون ١٠٠ % ، ويمكن التأكد من صحة معاملات النفاذية المستخرجة بمقارنتها بالقيم المتعارف عليها لأنواع التربة المختلفة .



شكل رقم (١٤ أ)
جهاز إختبار النفاذية - المستوى الثابت

شكل رقم (١٤ ب)
جهاز إختبار النفاذية - المستوى المتغير

١٢- اختبار انهيارية أو انتفاخية التربة Collapse Test & Swelling :

أ - التربة الانتفاخية :

من الاختبارات السهلة التي يمكن من خلالها تحديد الانتفاخ الحر Free-Swell Test للتربة عن طريق وضع (١٠)سم^٣ من التربة الجافة المارة من خلال منخل رقم (٤٠) ببطء شديد إلى إناء مدرج لـ (١٠٠)سم^٣ وملئه بالماء وملاحظة حجم التربة حتى يثبت ، ويتم تحديد مقدار الانتفاخ بالمعادلة التالية :

الانتفاخ الحر (%) = (الحجم المتغير - الحجم الأصلي) ÷ الحجم الأصلي

وتعتبر التربة التي قيمة الانتفاخ الحر لها (١٠٠٪ أو أكثر) من التربة الانتفاخية التي قد تحدث أضراراً للمباني ، وهناك عدة اختبارات معملية يستخدم فيها جهاز الأوديوميتر لمعرفة مقدار ضغط الانتفاخ Swelling Pressure و تجري على عينات غير مقلقلة من التربة ، وهذه الاختبارات مشابهة لاختبارات الاندماج ، وتتمثل في وضع عينات من التربة يبلغ ارتفاعها من (٢٠) إلى (٢٥) مم وقطرها من (٥٠) إلى (١٠٠) مم في الأوديوميتر ، ويتم تحميل العينة وغمرها بالماء وملاحظة نسبة الانتفاخ . وفي بعض الاختبارات يتم التحكم في حجم العينة بحيث يكون ثابتاً ويحدد الضغط الرأسي (ضغط الانتفاخ) الذي عنده يكون التغير في الحجم مساوياً لصفر . كما يقاس حجم الانتفاخ عن طريق اختبار تحديد نسبة كاليفورنيا.

ب - التربة الانهيارية :

هناك نوعان من الاختبارات المعملية التي يمكن من خلال نتائجها التعرف على ما إذا كانت التربة انهيارية أم لا وهما :

– اختبار الانهيار أحادي الأوديوميتر **Test Single – Oedometer Collopse** :
ويتمثل الاختبار في وضع عينة مقلقلة من التربة في الأوديوميتر ووضع أوزان مساوية لضغط حمل التربة إضافة إلى الضغط الحاصل من المياني المقامة على التربة، ثم تترك مدة من الزمن إلى مرحلة الاتزان ، ثم بعد ذلك تغمر العينة بالماء وتترك إلى أن يكون مقدار هبوط العينة ثابتاً ، ثم يجرى على العينة اختبار الاندماج بالحد الأقصى من الوزن و يرسم نسبة الفراغات **Voids Ratio,e** إلى لوغاريتم الضغط **Log p** يتم تحديد القابلية للانهيار **CP** بالمعادلة التالية :
قابلية انهيار **CP =** التغير في نسبة الفراغات بعد الغمر ÷ (١ + نسبة الفراغات في بداية الغمر) .

– اختبار الانهيار ثنائي الأوديوميتر **Double –Oedometer Collapse Test** :
في هذا الاختبار يتم وضع عينتين متطابقتين غير مقلقلة إحداها تختبر بالنسبة الطبيعية للماء ، والأخرى مغمورة بالماء ، ويتم تحميلهما بأوزان متطابقة ومن ثم رسم النتائج على رسم بياني واحد ، ويمثل الفرق بين نسبة الفراغات بينهما عند أي ضغط التغير في الحجم عند غمر العينة بالماء .
وفي الحقل يتم إجراء اختبار الاستجابة للرطوبة **Response To Wetting Test** باستخدام طريقة اللوح المحمل لتقدير القيمة الحقيقية للانفعال الحادث في التربة وقابلية التربة للانهيار .

١٣ – التحاليل الكيميائية **Chemical Testing** :

- أ - تحديد نسبة الكبريتات **Sulfate Content**
يتم عمل اختبار تحديد نسبة الكبريتات المذابة في التربة والمياه الجوفية .
- ب – تحديد نسبة الكلوريدات **Chloride Content**
يتم عمل اختبار تحديد نسبة كلوريدات الصوديوم والمغنيسيوم والكالسيوم المذابة في التربة .
- ج – الرقم الهيدروجيني **PH**
يتم عمل الاختبارات اللازمة لتحديد الرقم الهيدروجيني للتربة .

١١ – تصنيف أنواع التربة والصخور

Rock Classification& Soil

١١ – ١ – الصخور :

- تعرف الصخور بأنها مواد معدنية غير عضوية موجودة على الطبيعة متلاصقة ومتماسكة بصلابة ، وتحتاج إلى جهد كبير إلى تكسيرها وتفتيت أجزائها .
وتنقسم الصخور إلى ثلاثة أنواع حسب مصدرها الجيولوجي وهي :
- الصخور النارية البركانية : مثل الجرانيت والبازلت .
 - الصخور الرسوبية : مثل الحجر الجيري .
 - الصخور المتحولة : وهي صخور نارية أو رسوبية تحولت بعوامل التعرية مثل صخر الشست والنييس .
وصف الصخور :
- يبنى وصف الصخور للعينات الظاهرة أو المستخرجة من الجسات وفقاً لما يلي :
- ١ – اللون : **Color** : تحديد لون الصخر .
 - ٢ – المتانة : **Hardness** : إذا كان الصخر قوياً أو متوسطاً أو ضعيفاً أو هشاً .
 - ٣ – المكونات **Structure** : متماسك أو متصفح .
 - ٤ – التعرية **Weathering** : توصف مقدار التعرية للصخر .
 - ٥ – التكهفات **Cavities** : يوضح سعة التكهفات وكمياتها .
 - ٦ – الفتحات **Voids** : توضح عدد الفتحات ومقدارها .
 - ٧ – نوع الصخور : وتوضح ما إذا كانت الصخور رسوبية أو نارية أو متحولة ونوع الصخر .

١١ - ٢ - التربة :

تتكون التربة من مجموعة من المعادن يتفاوت حجمها من أحجام مجهرية إلى حصى كبيرة جداً، وتكونت التربة القريبة من سطح الأرض عن طريق تحلل الصخور والنباتات كيميائياً وفيزيائياً بتأثير العوامل الجوية والتعرية على مدى عصور وأحقاب جيولوجية ماضية ، وتتكون عناصر التربة من ثلاثة جزئيات رئيسية هي الجسم الصلب Solid وهو مكونات التربة من المعادن ، والغاز Gas وهو الهواء ، والسائل Liquid وهو عادة الماء ، ويتم ربط هذه الجزئيات مع بعضها بثلاث علاقات حجمية هي :

- المسامية Porosity, n والتي تساوي حجم الهواء على الحجم الكلي للجزئيات .
- نسبة الفراغات Ratio, e Void والتي تساوي حجم الهواء على حجم التربة الجافة .
- درجة التشبع Degree of Saturation, S والتي تساوي حجم الماء على حجم الهواء .

ويمكن أيضاً تحديد العلاقات الوزنية للتربة مثل :

- نسبة الرطوبة Water Content ,wc والتي تساوي وزن الماء على وزن التربة الجافة .
- الوزن النوعي Specific gravity, SG والذي يساوي درجة التشبع \times نسبة الفراغات \div نسبة الرطوبة ($e/wc \times SG = S$) .
- الوحدة الوزنية الجافة للتربة Unit Weight, gd والتي تساوي الوزن النوعي \times الوحدة الوزنية للماء على نسبة الفراغات $+ 1 (gw/1+e \times gd = SG)$.

وتعتبر هذه العلاقات من أساسيات الحسابات الهندسية للتربة .

١ - مجموعة التربة :

يمكن تقسيم التربة إلى ثلاثة مجموعات رئيسية مختلفة هي :

- التربة الحبيبية Granular Soils وتشمل الرمل والحصى .
- التربة الناعمة Fine – Grained Soils وتشمل الطين والطيني .
- التربة العضوية Organic Soils وتشمل الخث والطين والطيني العضوي .

وتمتاز التربة الناعمة بلدونها وقابليتها للانضغاط وعدم نفاذيتها للماء وعدم تحملها ، وهذا النوع من التربة يستوجب دراسة مستفيضة .

٢ - وصف التربة :

يتم وصف التربة عن طريق المعاينة البصرية لعينة منها وفحصها يدوياً عن طريق اللمس لتحديد مدى لدونها وبنيتها ولونها وشكلها وفقاً للجدول رقم (٨) .

جدول رقم (٨)

طريقة وصف التربة الأساسية بالمعاينة البصرية

م	التربة		الوصف
1	الحصى	Gravel	يمكن معرفته عن طريق حجم الحبيبات المدور والمضلع وشكلها المدور وشبهه .
2	الطين	Clay	حبيباتها متماسكة ولدنة عندما تكون تفتتتها عندما رطبة وقاسية يصعب تكون يابسة ، وعادة يكون الطين مختلطاً مع أنواع أخرى من التربة ، وعند دحرجتها إلى خط رفيع باليد وهي رطبة لا تنكسر .
3	الطيني	Silt	حبيباتها غير لدنة وغير متماسكة ، اليابسة منها إلى ويمكن تفتتت التربة مسحوق ، وعند دحرجتها إلى خط رفيع باليد وهي رطبة تنكسر إلى قطع صغيرة .
4	الرمل	Sand	ذات ملمس خشن غير لدنة أو متماسكة

			بين حجم الحصى ، ويتفاوت حجمها ما والطيني
5	الخث	Peat	بقايا نباتات سوداء أو بنية غامقة اللون
6	الطين العضوي	Organic Clay	طين رمادي غامق اللون يحتوي على صدقات ضعيف ألياف وأنسجة دقيقة أو البنية وتوجد مقارنة قليلة عند عجنه
7	الطين العضوي	Organic Silt	طين رمادي غامق اللون يحتوي على صدقات ضعيف ألياف وأنسجة دقيقة أو البنية وتوجد مقارنة قليلة عند عجنه
8	تربة حبيبية ناعمة	Fine – Grained	تربة تكون غالبيتها من الطمي أو الطين
9	تربة حبيبية خشنة	Coarse – Grained	تربة تكون غالبيتها من الرمل أو الحصى
10	تربة حبيبية مختلطة	Mixed – Grained	تربة تتكون من خليط من التربة والخشنة الحبيبية الناعمة

جدول رقم (٩)
وصف التربة المختلطة بالمعاينة البصرية

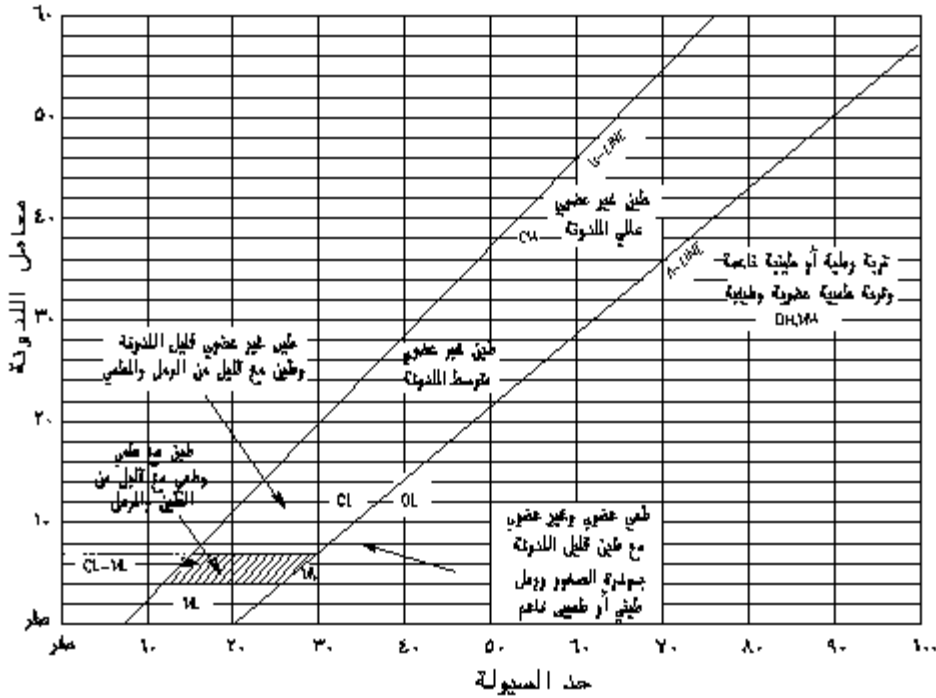
م	الوصف	التربة
1	تربة تكون غالبية محتوياتها من أو كبيرة الحصى مع حبيبات صغيرة من الرمل ، ويمكن أن تحتوي أيضاً على نسبة بسيطة من التربة الناعمة	Sandy Gravel
2	تربة تكون غالبية محتوياتها من الرمل أو كبيرة من الحصى مع كميات صغيرة ، ويمكن أن تحتوي أيضاً على نسبة بسيطة من التربة الناعمة	Gravel Sandy
3	تربة تكون غالبية محتوياتها من الرمل من التربة الناعمة مع كميات صغيرة الغير لزجة	Silty Sand
4	تربة تكون غالبية محتوياتها من الرمل من التربة الناعمة مع كميات صغيرة اللزجة ويمكن أن تحتوي على قليل من الطمي	Clayey Sand
5	تربة تكون غالبية محتوياتها من التربة الحصى مع كميات صغيرة الناعمة الغير لزجة	Silty Gravel
6	تربة تكون غالبية محتوياتها من التربة الحصى مع كميات صغيرة الناعمة اللزجة ويمكن أن تحتوي على قليل من الرمل والطيني	Clayey Gravel
7	تربة تكون غالبية محتوياتها من الطين من الطمي ، وهذه مع كميات صغيرة التربة عالية اللزوجة	Silty Clay

8	طميية مع قليل من الطين	Clayey Silt	ترربة تكون غالبية محتوياتها من الطمي من الطين ، وهذه مع كميات صغيرة . التربة قليلة اللزوجة
---	------------------------	-------------	--

ولا بد أيضاً أن يحتوي وصف التربة على اللون ودرجة الرطوبة وشكل العينات وبنيتها وأية ملاحظات يمكن أن تساعد في التعرف على التربة ووصفها .

ويمكن أيضاً التعرف على أنواع التربة عن طريق معرفة حد السيولة ودليل اللدونة لها ويوضح الشكل رقم (١٥) أنواع التربة حسب رموزها باستخدام حد السيولة ودليل اللدونة لها ، ولأهمية تمييز وتصنيف التربة في التعرف على خصائصها من حيث استقرارها وقوة تحملها وتصريفها للمياه ومقدار التغير في حجمها ، ولتحديد نوع التربة ووصفها يتم استخدام رموز التربة الواردة في الأنظمة الدولية للتصنيف والتي منها النظام الموحد USC ونظام أشتو AASHTO ونظام الجمعية الأمريكية للاختبارات

والمواد ASTM وجمعية الإدارة الفدرالية FAA ونظام وزارة الزراعة الأمريكية USDA وسيتم إيضاح طرق التصنيف الواردة في النظام الموحد USC ونظام أشتو AASHTO .



شكل رقم (١٥)

رسم يوضح رموز أنواع التربة حسب حد السيولة ودليل اللدونة لها

١ - نظام تصنيف التربة الموحد Unified Soil Classification, USC

حيث تم تقسيم التربة في النظام حسب مقاساتها طبقاً للجدول رقم (١٠)

جدول رقم (١٠)

تقسيم التربة حسب المقاس (النظام الموحد)

التربة	مجال المقاس
Boulders صخور كبيرة جداً	أكبر من ٣٠٠ مم
Cobbles صخور كبيرة	أكبر من ٧٥ إلى ٣٠٠ مم

Coarse – Grained – 1 تربة حبيبية خشنة – 1	
Gravel حصى 4	من ٧٥ مم إلى منخل رقم
خشن -	من ٧٥ مم إلى ١٩ مم
ناعم -	من ١٩ مم إلى منخل رقم ٤
Sand من منخل ٤ إلى منخل رقم ٢٠٠ رمل	
رمل خشن -	من منخل ٤ إلى منخل رقم ١٠
رمل متوسط -	من منخل ١٠ إلى منخل رقم ٤٠
رمل ناعم -	من منخل ٤٠ إلى منخل رقم ٢٠٠
Fine – Grained – 2 تربة حبيبية ناعمة – 2	
Fines مواد ناعمة -	التربة المارة من منخل رقم ٢٠٠
Silt طمي -	باستخدام حدود أتربرج
Clay طين -	باستخدام حدود أتربرج
Organic Soils التربة العضوية – 3	حسب المعاينة البصرية

يوضح الجدول الآتي رقم (١١) طريقة تصنيف التربة باستخدام النظام الموحد :

Major Divisions الأقسام الرئيسية	الرمز Symbols	الاسم المتعارف عليه Typical Names	وصف التربة في الحقل		
			Iden. Procedure طريقة الوصف (أجزاء أقل من منخل رقم ٤٠ على)		
			قوة القص Strength	قابلية التمدد Dilatancy	مقدار اللدونة Toughness
تربة ناعمة Fine Grained Soils أكثر من العينة نصف أقل من منخل رقم ٢٠٠ more than half of the material is smaller than #200 sieve	< طمي وطين حد السيولة Silts & Clays من ٥٠ 50 > LL	طمي غير عضوي مع رمل ناعم ، طين أو طمي مع طين قليلة بلدونة	لا شيء إلى قليل	سريع إلى بطيء	لا شيء
		طين غير عضوي قليل أو متوسط اللدونة ، طين مع رمل أو حصي أو طمي	متوسط إلى عالي	لا شيء إلى بطيء جداً	متوسط
		طمي عضوي وطين مع طمي عضوي قليل اللدونة	قليل إلى متوسط	بطيء	قليل
		طمي عضوي قليل رمل أو طمي ناعم	قليل إلى متوسط	بطيء إلى لا شيء	قليل إلى متوسط
	> طمي وطين حد السيولة Silts & Clays من ٥٠ 50 < LL	طين غير عضوي	إلى عالي	لا شيء إلى عالي	عالي

				عضوي ذو لدونة عالية	جداً			
				OH	طين عضوي بلدونة متوسطة إلى عالية	متوسط إلى عالي	لا شيء إلى بطيء جداً	قليل إلى متوسط
				PT	الخت والتربة العالية العضوية	اللون والرائحة والملمس الأسفنجي		
<p>تربة خشنة Coarse Grained Soils أقل من نصف العينة أقل من منخل رقم ٢٠٠ Less than half of the material is smaller than #200 sieve</p>	<p>حصى Gravels أكثر من نصف الخشن الجزء أكبر من منخل (رقم ٤) More than half of the coarse fraction is larger than #4 sieve</p>	<p>حصى نظيف Clean Gravel</p>	GW	حصى متدرج تدرجاً مناسباً مختلط مع الرمل ويحتوي على قليل من التربة الناعمة	حبيبات التربة متعددة المقاسات وتظهر المقاسات المتوسطة بشكل أكبر			
			GP	حصى متدرج تدرجاً مناسباً مختلط مع الرمل ويحتوي على قليل من التربة الناعمة	الغالبية العظمى من مقاس واحد مع فقدان المقاسات المتوسطة منها بعض			
			GM	حصى مع طمي خليط من الحصى والرمل والطيني	حبيبات ناعمة غير لدنة أو ذات لدونة قليلة (ML انظر أيضاً طريقة الوصف)			
		<p>حصى مع حبيبات ناعمة Gravel With Fines</p>	GC	حصى مع طمي خليط من الحصى والرمل والطيني	حبيبات ناعمة لدنة (انظر أيضاً طريقة الوصف CL)			
			<p>رمل Sands أكثر من نصف الجزء الخشن أكبر من منخل رقم ٤)) More than half of the coarse fraction is</p>	<p>Clean Sands رمل نظيف</p>	SW	رمل متدرج تدرجاً مناسباً مختلط مع الحصى ويحتوي على قليل من التربة الناعمة	حبيبات التربة متعددة المقاسات مع توفر المقاسات المتوسطة بشكل أكثر	
		SP			رمل متدرج تدرجاً مناسباً	الغالبية العظمى مقاس واحد أو عدة مقاسات مع فقدان بعض المقاسات المتوسطة منها		

larger than #4 sieve			مختلط مع الحصى ويحتوي على قليل من التربة الناعمة	
	رمل مع حبيبات Sands With ناعمة Fines	SM	رمل مع طمي ، خليط من الرمل والطيني	حبيبات ناعمة غير لدنة أو ذات لدونة قليلة (ML انظر طريقة الوصف)
		SC	رمل مع طين ، خليط من الرمل والطين	حبيبات ناعمة لدنة (انظر طريقة الوصف CL)

٢ - نظام آشتو لتصنيف التربة AASHTO Soil Classification :

وهو النظام المعتمد لتصنيف أنواع التربة لأعمال الطرق ، ولقد تم تقسيم التربة فيه إلى سبع مجموعات رئيسية إضافة إلى المجموعات الجزئية ، ويتم تقدير التربة بناء على دليل المجموعة Group Index, GI والذي يمكن الحصول عليه بالمعادلة التالية :

$$\text{دليل المجموعة (GI)} = (F-35) \{0.2+0.005 (LL-40)\}+0.01(F-15) (PI-10)$$

حيث إن :

F = نسبة التربة المارة من منخل رقم (٢٠٠) .

LL = حد السيولة (%) .

PI = دليل اللدونة (%) .

ملاحظة : عندما يكون $F < 35$ استخدام $F - 35 = 0$.

والاختبار الوحيد المستخدم في تصنيف التربة حسب نظام آشتو هو اختبار حدود أتبرج (حد السيولة ودليل اللدونة) ولقد تم تقسيم التربة في النظام حسب مقاساتها طبقاً للجدول رقم (١٢) .

جدول رقم (١٢)

تقسيم التربة حسب المقاس (نظام آشتو)

التربة	مجال المقاس
Boulders صخور كبيرة	أكبر من ٧٥ مم
Gravel منخل رقم ١٠ حصي	من ٧٥ مم إلى
Coarse Sand رمل خشن	من منخل ١٠ إلى منخل ٤٠
Fine Sand رمل ناعم	من منخل ٤٠ إلى منخل ٢٠٠
Silt - Clay طمي مع طين	التربة المارة من منخل رقم ٢٠٠

ويمثل الجدول رقم (١٣) طريقة تصنيف التربة حسب نظام آشتو .

ويوضح الجدول رقم (١٤) المعادلة التقريبية للرموز الخاصة بالتربة بين نظام آشتو ونظام تصنيف التربة الموحد :

النظام الموحد USC	نظام آشتو AASHTO
SW, SP, GM, SM	A - 1 - b
SP	A3
GM, SM	A - 2 - 4
GM, SM	A - 2 - 5
GC, SC	A - 2 - 6
GM, SM, SC, GC	A - 2 - 7

ML , OL	A – 4
OH , MH , ML , OL	A- 5
CL	A – 6
OH , MH	A – 7 – 5
CH , CL	A – 7 – 6

١٢ - دك التربة

Soil Compaction

١-١٢- عمليات الدك :

الدك هي الطريقة التي يتم بها زيادة كثافة التربة بطرق ميكانيكية بهدف إزالة كمية كبيرة من فقاعات الهواء الموجودة بالتربة ، وقد تتضمن بعض عمليات الدك تغيير نسبة الرطوبة وتحسين تدرج حبيباته ، وتتم عملية دك التربة الغير متماسكة كالتربة الرملية بواسطة الهزازة **Vibrating Plates** أو المعدات ذات الكفريات المطاطية **Tired – Rubber** ويمكن استخدام الطرق الديناميكية كإسقاط وزن ثقيل من ارتفاع عال ، وفي التربة الناعمة واللزجة تتم عملية الدك بواسطة المداحل الثقيلة مثل مداحل أرجل الغنم **Sheepsfoot Rollers** أو مرور المعدات الثقيلة على الطريق .
وتهدف عملية الدك إلى تحسين الخواص الفيزيائية للتربة مثل :

- التقليل من هبوط التربة .
- زيادة قوة التحمل .
- التحكم في ثبات الحجم للتربة الانتفاخية أو الانهيارية .
- التقليل من قيمة معامل النفاذية .
- التقليل من انكماش التربة .

ويعتمد دك التربة على أربعة عوامل هي :

- الوحدة الوزنية الجافة للتربة **gd** .
- نسبة الرطوبة **wc** .
- الجهد المبذول في الدك .
- نوع التربة .

وتتم عملية الدك في المعمل بواسطة اختبار الدك الذي يسمى باختبار " البروكتور " نسبة إلى العالم " بروكتور " الذي اكتشف عملية الدك قبل حوالي ٧٠ سنة ، ويتمثل الاختبار بدك عدة عينات من نفس التربة بجهد ثابت وينسب رطوبة مختلفة ، ثم يتم تحديد الوحدة الوزنية الرطبة **g wet** ونسبة الرطوبة الطبيعية **wc** لكل عينة والتي منها يتم تحديد الوحدة الوزنية الجافة **gd** بالمعادلة التالية :

$$\text{الوحدة الوزنية الجافة} = \frac{\text{الوحدة الوزنية الرطبة}}{(1 + \text{نسبة الرطوبة})}$$

ويتم بعد ذلك تمثيل نسبة الرطوبة مع الوحدة الوزنية الجافة على رسم بياني على شكل منحنيات تسمى منحنيات الدك حيث تمثل أعلى نقطة في هذا المنحنى الوحدة الوزنية الجافة العظمى وهي أقصى كثافة يمكن الحصول عليها في اختبار الدك ، ويقابلها نسبة الرطوبة القصوى **Optimum Moisture Content , OMC** للتربة المختبرة .

١٢ - ٢- معدات الدك :

يعتمد دك التربة على عدة عوامل منها :

- مميزات معدات الدك من حيث وزن المعدات وحجمها وشكل الجزء الملامس للتربة من المدحلة .

- مميزات التربة من حيث الكثافة الطبيعية لها ونوع التربة وحجم وشكل حبيباتها ونسبة الرطوبة الطبيعية .
- طريقة الدك من حيث عدد مرات مرور المدحلة فوق التربة المدكوكة وسماكة الطبقات المراد دكها وسرعة المدحلة وتكرار عملية الهزاز .
والمعدات الشائعة الاستعمال والمستخدمة في عملية الدك هي كما يلي :

١ - مداحل ذات الأسطح الملساء Smooth –Wheel Roller

يتم في عملية الدك بهذه المعدة تغطية ما نسبته ١٠٠ ٪ من التربة تحت المدحلة ويصل مقدار الضغط إلى ٣٨٠ كيلو باسكال ، وتستخدم المدحلة في دك التربة السفلية لجميع أنواع التربة ماعداً التربة التي بها نسبة كبيرة من الصخور .

٢ - مداحل بكفريات مطاطية Rubber – Tired Roller

وتتكون من جسم المدحلة الثقيل الوزن محمل على عدة خطوط مكونة من ٤ إلى ٦ كفريات ويتم في عملية الدك بهذه المعدة تغطية ما نسبته ٨٠ ٪ من التربة تحت المدحلة ، ويصل مقدار الضغط إلى ٧٠٠ كيلو باسكال ، وتستخدم المدحلة في دك التربة السفلية لجميع أنواع التربة .

٣ - مداحل أرجل الغنم Sheepsfoot Roller

تتكون من العديد من البروزات الدائرية أو المربعة التي تشبه أرجل الغنم على إسطوانة دائرية ، ويتم في عملية الدك بهذه المعدة تغطية ما نسبته ١٢ ٪ من التربة تحت المدحلة ويصل مقدار الضغط من ٧٠٠ إلى ١٤٠٠ كيلو باسكال حسب سعة الاسطوانة وعمما إذا كانت مملوءة بالماء ، وتستخدم هذه المدحلة في دك التربة للزجة .

٤ - مداحل بأرجل Tamping Foot Roller

تتكون من العديد من البروزات وتشبه مداحل أرجل الغنم ، ويتم في عملية الدك بهذه المعدة تغطية ما نسبته ٤٠ ٪ من التربة تحت المدحلة ، ويصل مقدار الضغط من ١٤٠٠ إلى ٨٤٠٠ كيلو باسكال حسب حجم المدحلة وعمما إذا كانت الإسطوانة مملوءة لزيادة وزنها ، وتستخدم المدحلة في دك التربة الناعمة .

٥ - المداحل الشبكية Grid Roller

تتكون من العديد من البروزات مثبتة على إسطوانة دائرية ، ويتم في عملية الدك بهذه المعدة تغطية ما نسبته ٥٠ ٪ من التربة تحت المدحلة ويصل مقدار الضغط من ١٤٠٠ إلى ٦٢٠٠ كيلو باسكال وتقوم البروزات عند مرورها بسرعة بتكسير وهز دك التربة ، وتستخدم المدحلة في دك التربة الصخرية والرملية .

٦ - مدحلة بإسطوانة هزازة Vibrating Drum Roller

تتكون من مدحلة ذات سطح أملس أو مدحلة بأرجل ومركب عليها هزازات أفقية لدك التربة الحبيبية ، وتستخدم المداحل في المناطق الضيقة التي لا تصل إليها المعدات الثقيلة الأخرى .

٧ - استخدام الكمبروسر و صفيحة معدنية

تستخدم في دك المناطق الصغيرة والضيقة .

١٣ - تثبيت التربة

Soil Stabilization

عند عدم توفر المواد الجيدة للردم يحتاج الأمر في بعض الأحيان إلى إضافة بعض المواد المثبتة للتربة ، وذلك لتحسين خواصها وزيادة درجة استقرارها وقوة تحملها وثبات حجمها ونفاذيتها للماء ، وطرق التثبيت الشائعة هي :

- التثبيت الميكانيكي Mechanical Stabilization

- التثبيت بإضافة بعض المواد المحسنة Admixture Stabilization

١-١٣ - التثبيت الميكانيكي :

يتم في هذه الطريقة دراسة المواد المتوفرة ومن ثم تعديل بنية التربة الأساسية إما بإضافة مواد ناعمة أو مواد خشنة من أجل الحصول على تدرج حبيبي مناسب واختيار نسب خلط مناسبة للوصول إلى أعلى كثافة ، ويعتبر

التدرج الحبيبي والكثافة وحد السيولة ودليل اللدونة ودرجة الاستقرار من أهم العوامل التي تؤخذ في الاعتبار عند تصميم الخليط ، ويتم بعد ذلك دك التربة بالطرق المختلفة للوصول إلى أعلى نسبة كثافة (لا يقل عن ٩٥٪) .

٢-١٣ - التثبيت بإضافة بعض المواد المحسنة :

يعتبر الأسمنت والجير والبيتومين السائل أو القار من أفضل المواد المحسنة التي يمكن إضافتها للتربة ، وتعتمد كمية المواد المضافة على نوع التربة المراد معالجتها ، ويتم تصميم الخلطة المناسبة في المعمل بأخذ عينات من التربة وإضافة نسب مختلفة من المواد المحسنة ودكها حتى يتم الوصول إلى أنسب خلطة كما يتم تثبيت التربة في بعض الأحيان باستخدام الأنسجة Geotextiles or Fabrics والتي تستخدم كعازلات ومرشحات أو لتصريف المياه ، أو استخدام مواد بلاستيكية لتسليح التربة .

١٤ - المشاكل الفنية للتربة الموجودة في المملكة

١٤ - ١ - التربة الانتفاخية (Expansive) Soils :

التربة الانتفاخية هي التربة التي يتغير حجمها بالزيادة أو النقص في حالة وصول الماء إليها أو الجفاف ، ومعظم أنواع التربة الطينية قابلة للانتفاخ أو الانكماش عند تغير درجة الرطوبة ، وتعتمد كمية الانتفاخ على عوامل عديدة منها التكوينات المعدنية للتربة والكثافة ودرجة الرطوبة الطبيعية وحالة الضغط ، وتكون التربة أكثر قابلية للانتفاخ في المناطق الحارة والجافة، وعند وصول الماء إليها يزداد حجمها ، ونتيجة لهذه الزيادة تتأثر المباني والطرق المقامة عليها . وتنتشر التربة الانتفاخية في مناطق كثيرة في المملكة منها تبوك وتيماء والهفوف والغط والمدينة المنورة والقصيم والجوف وحائل . وهناك عدة طرق لمعرفة قابلية التربة للانتفاخ ، ويمثل الجدول رقم (١٥) الطريقة غير المباشرة منها باستخدام حدود أتربرج ، والتي يمكن الاستهداء بها للتعرف على هذا النوع من التربة .

جدول رقم (١٥)

حد الانكماش	دليل اللدونة	نسبة الانتفاخ	درجة الانتفاخ
أقل من ١١	أكثر من ٣٥	أكثر من ٣٠	عالية جداً
٧ - ١٢	٢٥ - ٤١	٢٠ - ٣٠	عالية
١٠ - ١٦	١٥ - ٢٨	١٠ - ٢٠	متوسطة
أكثر من ١٥	أقل من ١٨	أقل من ١٠	قليلة

وهناك طرق أخرى مباشرة أكثر دقة لمعرفة قابلية التربة للانتفاخ تم ايضاحها ضمن الاختبارات الحقلية والمعملية .

وللتقليل من قابلية التربة للانتفاخ هناك العديد من الخطوات التي يلزم اتباعها ومنها :

- إزالة طبقة التربة الانتفاخية .
- التحكم في وصول الماء إلى التربة بإيجاد شبكة جيدة لتصريف المياه الأرضية والسطحية واستخدام الطرق الحديثة لري المزروعات .
- استخدام الليشة الخرسانية على كامل مسطح المبنى في تصميم الأساسات .
- تحسين خواص التربة بإضافة مواد كيميائية مثل الجير والأسمنت لتقوية ترابط جزيئاتها وزيادة قوتها .
- التحكم في اتجاه انتفاخ التربة بتصميم أساسات لها تجاويف تسمح بالانتفاخ دون الإضرار بالمبنى Waffle Slab .
- تحميل التربة بأحمال مساوية أو أكثر من ضغط الأحمال التي ستقام عليها بردميات ثم إزالتها بعد فترة زمنية محددة .

١٤ - ٢ - التربة الانهيارية Collapsing Soils :

التربة الانهيارية هي تربة قوية ومتماسكة وكثيفة تتكون من مواد محببة محاطة أو مغلقة بكمية صغيرة من الطين والطيني والملح والتي تعمل على تماسك هذه الحبيبات مع بعضها ، وعند وصول الماء إليها فإن هذه الطبقة تضعف ويحصل للتربة تغير مفاجئ في حجمها وانهيار بمجرد وزنها ، وتسبب هذه الانهيارات مشاكل للمباني المقامة عليها ، وتعتمد كمية الانهيار هذه على عوامل كثيرة منها نسبة الماء الطبيعية والكثافة وقيمة الضغط ، ويمكن التعرف على التربة الانهيارية بطرق غير مباشرة باستخدام الكثافة وحدود أتربرج وفقاً للمعادلة التالية

والجدول رقم (١٦) .
معامل الانهيار $k =$ (نسبة الرطوبة الطبيعية - حد اللدونة) ÷ دليل اللدونة .

جدول رقم (١٦)
وصف التربة بمعرفة معامل الانهيار لها

وصف التربة	k معامل الانهيار
تربة انهيارية	أقل من صفر
تربة غير انهيارية	أكثر من ٠,٥
تربة انتفاخية	أكثر من ١

ويمكن أيضا تحديد ما إذا كانت التربة انهيارية عن طريق معرفة الوحدة الوزنية الجافة للتربة حيث إن التربة التي كثافتها أقل من ١,٢٨ جرام / سم^٣ يكون مقدار الهبوط فيها عالياً أما إذا كانت الكثافة أكبر من ١,٤٤ جرام/سم^٣ فيكون مقدار الهبوط قليلاً .
وهناك أيضا طرق مباشرة لاختبار التربة في المعمل والحقل لمعرفة قابلية التربة للانهيار تم إيجازها ضمن الاختبارات المعملية .
وللتقليل من قابلية التربة للانهيار هناك العديد من الخطوات التي يلزم اتباعها ومنها :

- إزالة طبقة التربة الانهيارية .
- التقليل من وصول الماء إلى التربة بايجاد شبكة جيدة لتصريف المياه واستخدام الطرق الحديثة لري المزروعات .
- استخدام الخوازيق للوصول إلى الطبقات الغير انهيارية في تصميم الأساسات .
- تحسين خواص التربة بإضافة مواد كيميائية لتقوية ترابط جزيئاتها وزيادة قوتها وتغيير خصائصها الفيزيائية .
- غمر التربة بالماء قبل البناء للتقليل من مقدار هبوط التربة .
- دك التربة للحصول على تربة أكثر كثافة بطرق الدك المختلفة .

١٤ - ٣ - السبخة Sabkha :

السبخة هي ترسبات ملحية مختلطة بتربة رملية أو طميية مع قليل من الطين ، توجد في المناطق الساحلية الحارة على ساحل البحر الأحمر والخليج العربي ، وتكونت هذه الترسبات بفعل تشبع التربة بمياه البحر المالحة مع سرعة تبخر المياه السطحية منها بفعل أشعة الشمس والحرارة الزائدة تاركة الترسبات الملحية ، وتمتاز تربة السبخة بضعفها وقابليتها للانضغاط والهبوط لاحتوائها على نسبة عالية من الفراغات ونسبة رطوبة عالية ، كما تمتاز بتميعها في حالة حدوث هزات أرضية ، ولقد تسبب هذا النوع من التربة في العديد من المشاكل الجيوتقنية والتي منها الهبوط الغير منتظم والانهيارات ، ويستحسن في حالة البناء على هذا النوع من التربة اتباع مايلي :

- تحميل التربة بأحمال مساوية أو أكثر من الأحمال المفترضة عليها لفترة زمنية محددة حتى يتم الحصول على أعلى نسبة من الهبوط ثم إزالة هذه الأحمال .
- دك التربة بإحدى الطرق الفنية المتعددة .
- تحسين خواص التربة بإضافة المواد الكيميائية لتقوية ترابط جزيئاتها وزيادة قوتها وتغيير خصائصها الفيزيائية .
- استخدام اللبشة الخرسانية على كامل مسطح المبنى في تصميم الأساسات .
- الأخذ في الاعتبار عند تصميم المبنى مقاومة أخطار الزلازل في المناطق النشطة زلزالياً .

١٤ - ٤ - تكهفات الحجر الجيري Cavities in Lime Stone :

التكهفات هي فجوات داخل الحجر الجيري يصل حجمها من بضع سنتيمترات إلى عدة أمتار ، وتحتوي هذه الفجوات على مواد متحللة من الصخر ترجع أسبابها إلى التحليل الكيميائي في بعض أجزاء الصخر الضعيف نتيجة لارتفاع منسوب المياه الجوفية التي تحتوي على الكبريتات والكلوريدات وتفاعلها مع مادة الصخر المحتوية على كربونات الكالسيوم ، وبالتالي يضعف من قوة إجهادها . وتكمن مشكلة هذه التكهفات في أنه يصعب التنبؤ بمكانها ، ويمكن إغفالها في أعمال حفر الجسات حيث قد تكون بين حفرتين متقاربتين ويحدث نتيجة لذلك انهيارات مفاجئة عند تنفيذ الأساسات لعدم تحملها للاجهادات المفروضة ، ويمكن اكتشاف مواقع هذه التجويفات باتباع إحدى الخطوات التالية :

- أهمية إجراء الاختبارات الجيوفيزيائية على تربة الموقع قبل إعداد برنامج حفر الجسات .
- إجراء اختبار قوة تحمل الصخر **Sounding Test** والذي يتمثل في إدخال أنبوبة معدنية خلال الصخر بسرعة معينة ، وتعتمد هذه السرعة على قوة الصخر الموجود وملاحظة أي تغير مفاجئ في سرعة اختراق الأنبوبة ، والذي يعتبر مؤشراً على وجود تجويفات في الصخر .
- وعند اكتشاف التجويفات يمكن اتباع مايلي للتقليل من خطرها :
- التكهفات الصغيرة والقريبة من منطقة الأساسات يمكن حفرها وإزالة مواد التجويف وتنظيفها وإعادة ملئها بالخرسانة أو دكها على طبقات بمواد مناسبة .
- التكهفات البعيدة من منطقة الأساسات يتم حقنها بالأسمنت لتغيير خواصها وزيادة قوة تحملها .
- وضع طبقة من الخرسانة المقاومة للكبريتات تحت الأساسات لحماية خرسانتها وحديد تسليحها وعزلها عن المياه الجوفية .
- محاولة وضع برنامج الحفر والجسات تحت مواقع الأساسات إن أمكن ذلك .

١٤ - ٥ - ارتفاع منسوب المياه الجوفية **GWT Rise** :

ترجع أسباب ارتفاع المياه الجوفية إلى النهضة العمرانية الواسعة والتطور السريع في عملية البناء وانتشارها في مناطق كثيرة في المدن الكبيرة خلال العشرين سنة الماضية ، ولم يصاحب ذلك وجود شبكات كافية لتصريف المياه الصحية والسطحية والسيول تواكب هذا التوسع ، فنتج عن ذلك ارتفاع في مستوى هذه المياه ووجود مخازن للمياه قريبة من سطح الأرض من جراء الاستهلاك الزائد في المياه ووجود تسربات في حفر الامتصاص (البيارات) واختلطت هذه المياه وسببت العديد من المشاكل الجيوتقنية نظراً لقربها من سطح الأرض وفي منطقة أساسات المباني ومنها :

- انتفاخ التربة نتيجة وصول الماء إليها وانخفاض قوة تحمل التربة .
- انهيار التربة عند تشبعها بالمياه .
- الهبوط الغير منتظم للمباني نتيجة انخفاض قوة تحمل التربة .
- تحلل مواد صخور ووجود التكهفات بها .
- تأثير المياه الملوثة على خرسانة الأساسات وعلى حديد التسليح .
- تأثر الأقبية وبلاطات الأرضية بقوة ضغط الماء إلى أعلى **Uplift Pressure** .
- وجود صعوبة في عمليات الحفر والأعمال المؤقتة نتيجة ارتفاع منسوب المياه .
- سحب حبيبات التربة الناعمة مع المياه في عمليات نزع المياه والتي تسببت في وجود هبوطات .
- وللتقليل من هذه المشاكل ينصح باتباع ما يلي :
- عزل الأساسات بمواد عازلة لحمايتها من المياه الجوفية .
- عمل تصريف للمياه السطحية والسيول والصرف الصحي .
- عمل أنابيب صرف أرضية للمياه لصرافها لطبقات تحتية في حالة وجود خزانات مياه بين طبقات التربة .
- استخدام الطرق الحديثة في ري المزروعات وعدم زراعة أشجار قريبة من أساسات المباني .
- ملاحظة أية تسربات من حفر الامتصاص ومعالجتها .
- استخدام اللبشة والجدران الخرسانية في الأقبية .

١٤ - ٦ - المخاطر الزلزالية **Seismicity** :

تعتبر الزلازل من أخطر الظواهر الطبيعية على حياة الإنسان والممتلكات ، فعند حدوث هزة أرضية تتعرض المنشآت إلى قوى أفقية ورأسية كبيرة تكون سبباً في تصدعها أو انهيارها ، وخصوصاً إذا كانت هذه المنشآت غير مصممة ومنفذة لتقاوم أخطار الزلازل .

وعندما تحدث هزة أرضية فإن التربة الرملية تتصرف تصرفاً مختلفاً عما إذا كانت محملة أفقياً، ويكمن هذا الاختلاف في أن الأحمال الزلزالية تحدث في اتجاهات معاكسة لقوى القص ويؤثر هذا على الرمل بحيث يصبح أكثر كثافة ، وهذه الظاهرة تسبب ازدياداً في كمية ضغط المياه الزائدة **Excess Pore Water Pressure** حتى يصبح عندها الضغط الفعلي **Effective Stress** مساوياً للصفر ، وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة تمييع التربة الرملية **of Sand Liquefaction** لأن قوتها أصبحت ضعيفة ، وإذا كان الرمل غير كثيف فإنه يتصرف كالمسائل الكثيف ، والرمل المشبع بالماء تكون قوة مقاومته أضعف ، أما الرمل الكثيف فهو أكثر مقاومة في حالة حدوث الهزة الأرضية .

ولقد قامت مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية بتدعيم العديد من البحوث العلمية في مجال هندسة الزلازل ، وتمثل خارطة المرفقة نتيجة أحد الأبحاث التي قام بها مجموعة من الباحثين بجامعة الملك سعود والتي يظهر بها

تقسيم المملكة إلى مناطق حسب نشاطها الزلزالي ، ويمثل التقسيم ما يلي :

- منطقة متوسطة الشدة الزلزالية ويرمز لها بـ (B٢) وتقدر قيمة العجلة الأرضية بمقدار (g٠,٢) من عجلة الجاذبية الأرضية ، وتقع في المنطقة الشمالية الغربية والجنوبية للمملكة .
 - منطقة متوسطة الشدة الزلزالية ويرمز لها بـ (A٢) وتقدر قيمة العجلة الأرضية بمقدار (g٠,١٥) من عجلة الجاذبية الأرضية ، وتقع في المنطقة المحاذية للمنطقة (B٢) ومنطقة جدة .
 - منطقة ذات شدة زلزالية منخفضة ويرمز لها بـ (١) وتقدر قيمة العجلة الأرضية بمقدار ما بين (g٠,٠٥) إلى (g٠,١٠) من عجلة الجاذبية الأرضية ، وتقع في المناطق المحاذية لساحل البحر الأحمر وجزء صغير من المنطقة الوسطى وبعض المناطق في المنطقة الشرقية .
 - منطقة غير نشطة ويرمز لها بـ (٠,٠) وتمثل بقية مناطق المملكة .
- وهذه المناطق تعتبر مهمة جداً من حيث موقعها الجغرافي ، ويلزم تطبيق الشروط والمواصفات والتصاميم الفنية اللازمة لتفادي أخطار الزلازل .
- ولقد أعدت الوزارة دليلاً بعنوان " الدليل الإنشائي لحساب الأحمال الزلزالية واشتراطات تصميم الأنظمة الإنشائية للمباني بالمملكة العربية السعودية " يحتوي الدليل على المعادلات والجداول والاشتراطات التي يحتاج إليها المهندس الإنشائي لإعداد الدراسات الإنشائية المقاومة للزلازل وتدقيقها . ويأتي إعداد هذا الدليل استكمالاً لواجبات الوزارة تجاه تقديم الخدمات والارشادات بهدف تعريف المهندس الإنشائي في البلدية بالعوامل والمعادلات التي يتعين اتباعها عند تصميم أو مراجعة وتدقيق المخططات الإنشائية للمباني .