الفصل السابع : التحريات الجيوتكنيكية

1.7 مقدمة:

تتعرض التربة تحت المنشآت للاجهادات والتشوهات، ويمكن أن تتعرض نتيجة لذلك للانهيار، وهذا قد يؤدي إلى انهيار المنشأ أو قد يسبب أضراراً كبيرة في المنشأ وسيكون من المكلف جداً إصلاحها، لهذه الأسباب يتم عادة اعتبار التربة تحت المنشأ جزءاً من المنشأ ويتم دراسة سلوكها على المدى القصير وعلى المدى الطويل، كما يتم دراسة تأثير الاجهادات المنقولة إليها على المنشآت المجاورة، وبدون هذه المعلومات يصبح من الصعب وربما من المستحيل الحصول على تصميم أمين واقتصادي للمنشأ.

يتم الحصول على المعلومات الخاصة بالتربة عن طريق الاستكشافات الحقلية وهي تتطلب التخطيط الجيد وجمع المعلومات بعناية وإجراء التجارب بدقة وبشروط قريبة قدر الامكان من شروط التربة في الموقع، كما يجب تلخيص نتائج التحريات بشكل واضح ودقيق وبعيد عن الغموض، مع الادراك بأن نتائج التحريات عبارة عن تقديرات وليست معلومات دقيقة، وأن الطريقة الوحيدة لكي تكون هذه المعلومات دقيقة هي أن نقوم بنزع تربة التأسيس بالكامل ثم اختبارها وإعادة ردمها من جديد وهذا غير ممكن لأننا سنواجه في هذه الحالة مشكلة كبيرة تتمثل بالتأسيس على الردميات.

رغم التحريات المفصلة والشاملة ورغم الدقة في جمع المعلومات وفي إجراء التجارب فإنه من الممكن أحياناً الحصول على معلومات خاطئة فمثلاً قد تتواجد أحياناً بعض التكهفات أو بعض العروق أو التوضعات المكونة من الترب ضعيفة المقاومة أو من الردميات الاصطناعية وقد لا نتمكن من كشفها أثناء التحريات. لذلك يفضل أن يحتوي التقرير الجيوتكنيكي على تقدير للاحتمالات الممكنة وذلك من أجل تغطية الكلفة الاضافية التي قد تنجم عن ظهور بعض المشاكل التي لم يتم التنويه عنها في التحريات الجيوتكنيكية، كما يجب الانتباه إلى أن خواص التربة في الموقع قد تختلف بعدة درجات عن خواص التربة التي تم الحصول عليها مخبرياً وذلك نظراً لتعدد العوامل المؤثرة على هذه الخواص، ولذلك فإنه يجب أخذ هذا الموضوع بعين الاعتبار أثناء إعداد التقرير الجيوتكنيكي.

على الرغم من أن كلفة التحريات الجيوتكنيكية زهيدة مقارنة بالكلفة الاجمالية للمشروع إلا أن المهندس الجيوتكنيكي قد يجد صعوبة في إقناع صاحب المشروع بدفع التكاليف اللازمة للتحريات الجيوتكنيكية من أجل الحصول على تقرير جيوتكنيكي مكون من عدة صفحات. لذلك يتوجب على المهندس الجيوتكنيكي أن يشرح لصاحب المشروع وأن يقنعه بأهمية التقرير الجيوتكنيكي في التصميم الاقتصادي والأمين للمنشأ، كما يجب التنويه إلى الكلف الباهظة التي قد تنجم عن الاختيار الخاطىء لأساسات المنشأ، أو عن التأخر تنفيذ المنشأ الذي قد ينجم عن التقدير الخاطىء لخواص التربة. كما يتوجب على المهندس الجيوتكنيكي مقاومة أية محاولة لإلغاء التحريات الجيوتكنيكية أو تعديلها وذلك بحجة ضيق الوقت.

2.7 الغاية من التحريات الجيوتكنيكية

يمكن للتحريات الجيوتكنيكية أن تحدد خواص التربة وسلوكها وهذا يؤثر بشكل مباشر على اختيار وتصميم أساسات المنشأ وعلى تصميم المنشأ أيضاً، كما يؤثر على طريقة تنفيذ المنشأ.

2.7. 1 غاية المصمم من التحريات الجيوتكنيكية

فيما يلي بعضاً من الأسئلة التي يجب على التحريات الجيوتكنيكية أن تجيب عنها:

1- هل الموقع مناسب أم لا من أجل التصميم الاقتصادي والأمين للمشروع

2- ما هو نوع الأساس المناسب للتربة وما هو منسوب التأسيس ومناسيب رؤوس الأوتاد وأطوالها في حال استخدام الأوتاد

3- ما هي قدرة التحمل المسموحة للتربة أو للأوتاد في حال استخدامها

4- ما هي المناسيب التي تتأرجح ضمنها المياه الأرضية

5- هل التربة انتفاخية وذات تغير حجمي كبير وذات حساسية للعوامل الخارجية كالاهتزازات مثلاً.

6-ما تأثير الأساسات الجديدة على الأساسات والمنشآت المجاورة

7- هل تحتوي التربة على مواد كيميائية مخربة للبيتون كالكبريتات مثلاً.

8- هل هناك احتمال لتغير خواص التربة وسلوكها، كزيادة الهبوط نتيجة لزيادة رطوبة التربة، أو تسيل الترب الرملية الناعمة نتيجة للاهزازات ولارتفاع منسوب المياه.

9- مواقع العوائق الموجودة في الموقع والتوصيات الخاصة بها

10- مواقع ومواصفات تربة الردم التي ستستخدم في الموقع في المنشآت التي تحتاج كمية كبيرة من الردميات كالسدود الترابية مثلاً

2.7. 2 غاية المتعهد من التحريات الجيوتكنيكية

فيما يلي المعلومات التي تساعد المتعهد على التنفيذ الصحيح والاقتصادي والأمين للمنشأ:

1- استقرار التربة أثناء الحفر وتنفيذ الأساسات

2- التدعيم اللازم لجوانب الحفرية في حال الحاجة للتدعيم وكلفة هذا التدعيم

3-نوع المعدات والآليات المناسبة للحفر

4-مواقع العوائق الموجودة في الموقع

5- مواقع المواد الصالحة للردم في الموقع

3- تأثير المياه على استقرار تربة الموقع أثناء الحفر وهل هناك ضرورة لتخفيض منسوب المياه في الموقع أثناء الحفر

3 .2 .7 غاية صاحب العمل من التحريات الجيوتكنيكية

يحتاج صاحب العمل للتحريات الجيوتكنيكية من أجل معرفة الأمور التالية:

1- هل المشروع صفقة رابحة أم لا

2- هل الأساسات ستكون مكلفة أم لا

3- هل هناك أية مشاكل جيوتكنيكية تمنع إقامة المشروع أو تجعله صفقة غير رابحة كتعرض الموقع للفيضانات أو وجود الموقع ضمن كتلة منحدر قابلة للانزلاق ... الخ

3 .7 مراحل إجراء التحريات الجيوتكنيكية

تجرى التحريات الجيوتكنيكية عادة على ثلاث مراحل:

1 .3 .7 مرحلة التحريات الأولية

يتم في هذه المرحلة وضع المخططات الأولية واختيار موقع المشروع, وتهدف التحريات في هذه المرحلة إلى الحصول على معلومات كافية تسمح باختيار الموقع الأفضل للمشروع, واختيار التصميم المعماري الأفضل للمشروع, المناسب للشروط الجيولوجية والجيوتكنيكية للموقع, كما تسمح بتقييم الكلفة التقديرية للمشروع.

يتم في هذه المرحلة الاستعانة بالمخططات الجيولوجية للمنطقة حيث تغطي الدراسة مساحة جغرافية أكبر بكثير من مساحة موقع المشروع, حيث يتم تجميع معلومات جيولوجية كافية عن أماكن الفوالق النشطة وعن سيسمية المنطقة وأية معلومات جيولوجيوجية أخرى تساعد في اختيار المواقع الصالحة للمشروع واستبعاد المواقع غير الصالحة. بعد استبعاد المواقع غير الصالحة يتم البدء بإجراء الاستكشافات الأولية على المواقع المنتقاة بقصد اختيار الموقع الأفضل.

يمكن للتحريات الأولية أن تقدم معلومات هامة لمساحات وأعماق كبيرة, يمكن أن تفيد في تخفيض عدد السبور اللازمة للتصميم.

2 .3 .7 مرحلة تحريات التصميم

تتم الاستكشافات في هذه المرحلة من أجل:

أ- التأكد من المعلومات الواردة في التحريات الأولية من أجل الاختيار النهائي لموقع المشروع ووضع المخططات النهائية للمشروع.

ب- الحصول على معلومات كافية ودقيقة عن تربة الموقع المختار, تساعد في تصميم المشروع, ويتم ذلك عن طريق الاستكشافات الجيوفيزيائية والجيوتكنيكية التحت سطحية والتجارب الحقلية والمخبرية, ويجب أن تتركز هذه الاستكشافات في أماكن المنشآت الخاصة بالمشروع (الأبنية, جسم السد, البحيرة, المفيض, أقنية التفريغ ... الخ).

ت- البحث عن مصادر المواد الطبيعية (صخور, حصويات, تربة ردميات, ... الخ) التي يمكن استخدامها في المشروع.

7. 3. 3 مرحلة تحريات التنفيذ

تتم الاستكشافات في هذه المرحلة من أجل:

أ- التأكد من نوعية ومواصفات تربة الموقع ومطابقتها لم هو وارد في الاضبارة التصميمية.

ب- البحث عن أفضل الطرق التي تسمح بتنفيذ الأعمال الترابية والأساسات بشكل آمن واقتصادي.

7. 4 إجراءات التحريات الجيوتكنيكية

بشكل عام، تنفيذ التحريات الجيوتكنيكية في أية مرحلة يتضمن القيام بالعمليات الأربع الأساسية التالية:

أ- دراسة المعلومات المتوفرة (عمل مكتبي) وجمع كافة المعلومات الحقلية الأولية

ب- الاستكشافات الحقلية والتجارب المخبرية

ت- معالجة النتائج

ث- كتابة التقرير الجيوتكنيكي

ويجب أن يكون هناك تنسيقاً مستمراً بين المهندس الجيوتكنيكي والمهندس المصمم (الانشائي) طيلة فترة التحريات الجيوتكنيكية، ويمكن أن تتم بعض التعديلات على التحريات الجيوتكنيكية بحيث تحقق جميع متطلبات التصميم.

7. 5 وسائل التحريات الجيوتكنيكية

تتلخص وسائل التحريات الجيوتكنيكية بالتالي:

- الخرائط الجيولوجية والصور الجوية
- الاستكشافات الحقلية (جيوفيزيائية – السبور والحفر الاستكشافية – التجارب الحقلية)
- التجارب المخبرية

وسنشرح فيما يلي أهم هذه العناصر:

7. 5. 1 الخرائط الجيولوجية والصور الجوية

يتم الاستعانة بهذه الخرائط والصور في مرحلة التحريات الأولية وقبل زيارة الموقع, ويمكن أن تقدم معلومات هامة عن:

أ- الفوالق والتصدعات وتطبقات التربة

ب- احتمال وجود تكهفات

ت- منسوب المياه الجوفية وتغيره حسب الفصول

ث- احتمال وجود عدم استقرار للمنحدرات الصخرية

2.5.7 الاستكشافات الحقلية

من المهم جداً وضع برنامج مدروس واقتصادي للاستكشافات الحقلية قبل البدء بعملية الحفر وذلك اختصاراً للوقت وللكلفة الزائدة التي قد تنجم عن الحاجة للعودة إلى الوراء من أجل الحصول على بعض المعلومات الضرورية التي لم ترد في تقرير الاستكشافات, أو التي لم تؤخذ بالحسبان أثناء عملية الحفر, كعدم كفاية العينات المأخوذة من السبور من أجل التجارب المخبرية أو عدم كفاية أعماق السبور والحاجة إلى زيادتها. لوضع برنامج الاستكشافات الحقلية بشكل صحيح لا بد من تنفيذ المرحلتين التاليتين:

أ- **دراسة موقع وشروط المشروع :** تمثل هذه المرحلة الخطوة الأولى من خطوات الاستكشاف, وتتميز بأهميتها وقلة كلفتها ولكنها غالباً ماتهمل في برنامج الاستكشافات, وتتضمن من ناحية أولى دراسة كافة المعلومات المتوفرة عن موقع المشروع عن طريق الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والجوية مما قد يساعد على فهم جيولوجية وطبوغرافية منطقة المشروع وتحديد الأماكن التي قد تسبب بعض المشاكل كأماكن الفوالق مثلاً. وإذا لم يكن المخطط الطبوغرافي قد أنجز فيجب التأكيد على انجازه قبل البدء بالاستكشافات الحقلية، وعلى أقل تقدير يجب على المهندس الطبوغرافي أن يقوم بتسليم موقع المشروع على الأرض وأماكن المنشآت ضمن الموقع للمهندس الجيوتكنيكي قبل البدء بالتحريات، كما يمكن الحصول على معلومات هامة من المؤسسات الخدمية كمؤسسة المياه والكهرباء والهاتف عن أماكن التمديدات الخاصة بهذه المؤسسات .

من ناحية أخرى، يتم الاطلاع على المعلومات الخاصة بالمشروع كموقع المنشآت, الحمولات, مواقع الطرق والجسور ومواقع الركائز, مواقع الحفر والردم ... الخ. تساعد هذه المعلومات المهندس الجيوتكنيكي على اتخاذ قرار أولي يحدد فيه أنواع الأساسات التي قد تستخدم لمنشآت المشروع, وبناءً على ذلك يتم وضع المخطط الأولي للاستكشافات الحقلية لتربة الموقع, محدداً عليه طرق الاستكشاف والحفريات المقترحة, و نوعية التجارب الحقلية والمخبرية الواجب اجراؤها على تربة الموقع.

ب- **زيارة الموقع :** بعد دراسة المعلومات المتوفرة يجب على المهندس الجوتكنيكي زيارة موقع المشروع, مما سيسمح له بالحصول على أولى المعلومات الحقيقية عن الموقع ومقارنتها مع المعلومات السابقة المتوفرة. ويمكن تلخيص المعلومات التي يجب أن يبحث عنها المهندس خلال زيارته للموقع بالتالي :

1- مراقبة المنشآت المجاورة للتأكد من عمل أساساتها, وهذا سيوفر له معلومات إضافية عن الشروط التحت سطحية, فمثلاً عند ملاحظة وجود تشققات في الأبنية ناتجة عن الهبوطات التفاضلية أو انتفاخ التربة غير المنتظم،

أو وجود مشاكل توازن منحدرات فإن ذلك سيعطي المهندس الجيوتكنيكي معلومات هامة عن السلوك طويل الأمد لتربة الموقع.

2- البحث عن مجاري المياه والمنحدرات والحفر إن وجدت وفحص أطرافها من أجل معرفة تطبقات الترب المتكشفة.

3- تسجيل أية عوائق موجودة في موقع المشروع كأعمدة الكهرباء أو تمديدات المياه أو الهاتف وذلك من أجل تجنب هذه العوائق عند وضع مخطط السبور للموقع.

4- تسجيل أية ملاحظات يمكن أن تفيد المهندس كميول أي منحدر مجاور أو استقرار أي حوض تأسيس محفور.

5- البحث عن أية مصارف للمياه والآبار في حال وجودها وذلك لمعرفة التغير الموسمي للمياه الجوفية.

6- تسجيل أية ملاحظات تبرز الحاجة لإجراء سبور إضافية أو لزيادة أعماق السبور, كملاحظة وجود تكهفات في المنطقة أو وجود تشققات كبيرة في التربة تدل على أن التربة انتفاخية.

7- السؤال إلى الأشخاص المقيمين في المنطقة وخصوصاً كبار السن عن أية معلومات خاصة عن الموقع أو أية تغييرات قد طرأت على موقع المشروع.

ويجب القيام أثناء الزيارة بتسجيل جميع المعلومات الواردة أعلاه وتوثيقها بالصور الفوتوغرافية.

بعد زيارة الموقع وانطلاقاً من المعلومات التي جمعت من الموقع يقوم المهندس الجيوتكنيكي بتثبيت أو تعديل مخطط الاستكشافات الحقلية, حيث يحدد بشكل دقيق طرق الاستكشاف وأماكن الحفر والأعماق التقريبية, ونوعية وعدد التجارب الحقلية, وعدد ونوعية عينات التربة (مخربة أو سليمة) التي سيتم أخذها والمواقع والأعماق التي ستؤخذ منها, ونوعية التجارب المخبرية التي سيتم اجراؤها.

7. 6 تنفيذ برنامج الاستكشافات الحقلية :

انطلاقاً من المعلومات التي تم تجميعها سابقاً يمكن لمخطط الاستكشافات الحقلية أن يكون بسيطاً ويتكون من بضع حفر استكشافية قليلة العمق وعدد محدود من التجارب المخبرية، أو أن يكون موسعاً بحيث يضم تحريات جيوفيزيائية بالاضافة إلى عدد كبير من السبور الدورانية ذات الأعماق الكبيرة، بالإضافة إلى التجارب الحقلية.

7. 6. 1 التحريات الجيوفيزيائية

تتلخص هذه التحريات بإجراء قياسات غير مباشرة على سطح التربة أو في الأعماق, تسمح بالحصول على معلومات هامة , تتضمن أماكن الفوالق والتصدعات والتكهفات وتحديد التطبقات الأساسية للتربة ومنسوب المياه الجوفية, وتستخدم عادة هذه التحريات بالتنسيق مع طرق الحفر, وهي تسمح بخفض حجم هذه التحريات وكلفتها.

7. 6. 2 الحفر الاستكشافية (Trial Pits)

تعتبر الحفر الاستكشافية من أبسط طرق الاستكشافات الحقلية وتتلخص بحفر حفرة محدودة الأبعاد والعمق بواسطة اليد العاملة أو باستخدام آليات الحفر، بالقرب من الأساس المقترح وليس تحته وذلك من أجل عدم تخريب تربة التأسيس.

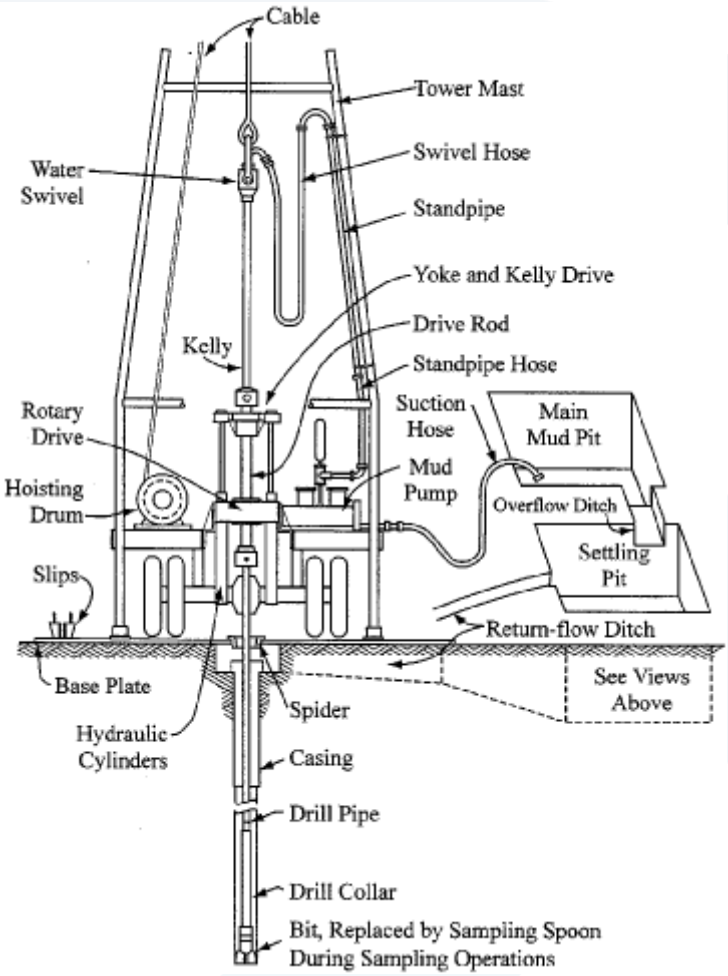
يمكن للحفر الاستكشافية أن تعطي فكرة حقيقة عن تربة الموقع وتطبقاتها ومدى تجانسها، وعن منسوب المياه وحركتها ضمن التربة إذا كان منسوبها قريباً من سطح الأرض، كما يمكن أن تعطي فكرة عن مدى تأثر التربة بالعوامل الجوية وعن قابلية حفر تربة الموقع والصعوبات التي يمكن مصادفتها.

تكمن مساوئ هذه الطريقة في محدودية عمق الاستكشاف الذي لا يتجاوز بضعة أمتار, كما لا يمكن استخدامها في الترب الرخوة أو تحت منسوب المياه الجوفية.

7. 6. 3 السبور الدورانية (Rotatary Boreholes)

السبر عبارة عن ثقب شاقولي ينفذ في موقع المنشأ المراد استكشافه بغرض الحصول على عينات من التربة, لدراستها والتعرف على طبيعتها وسلوكها تحت تأثير الأحمال المنقولة إليها من المنشأ. غالباً ما تستخدم السبور الدورانية لمنشآت الهندسة المدنية (Rotary Drilling), ويتم في هذه الطريقة الحفر عن طريق دوران رأس وأنابيب الحفر بواسطة محرك آلي, وتفتيت وطحن التربة على محيط رأس الحفر, وصعود مخلفات الحفر مع الماء إلى السطح (سائل الحفر). يتم التعرف على التربة وطبقاتها من سائل الحفر ومن معدل التقدم في الحفر, ويمكن أخذ عينات من التربة على أعماق مختلفة بواسطة اسطوانات تركب على رأس الحفر (الشكلين 1-7 و 2-7).

الشكل 1-7: صورة لإحدى الحفارات المستخدمة في تحريات التربة



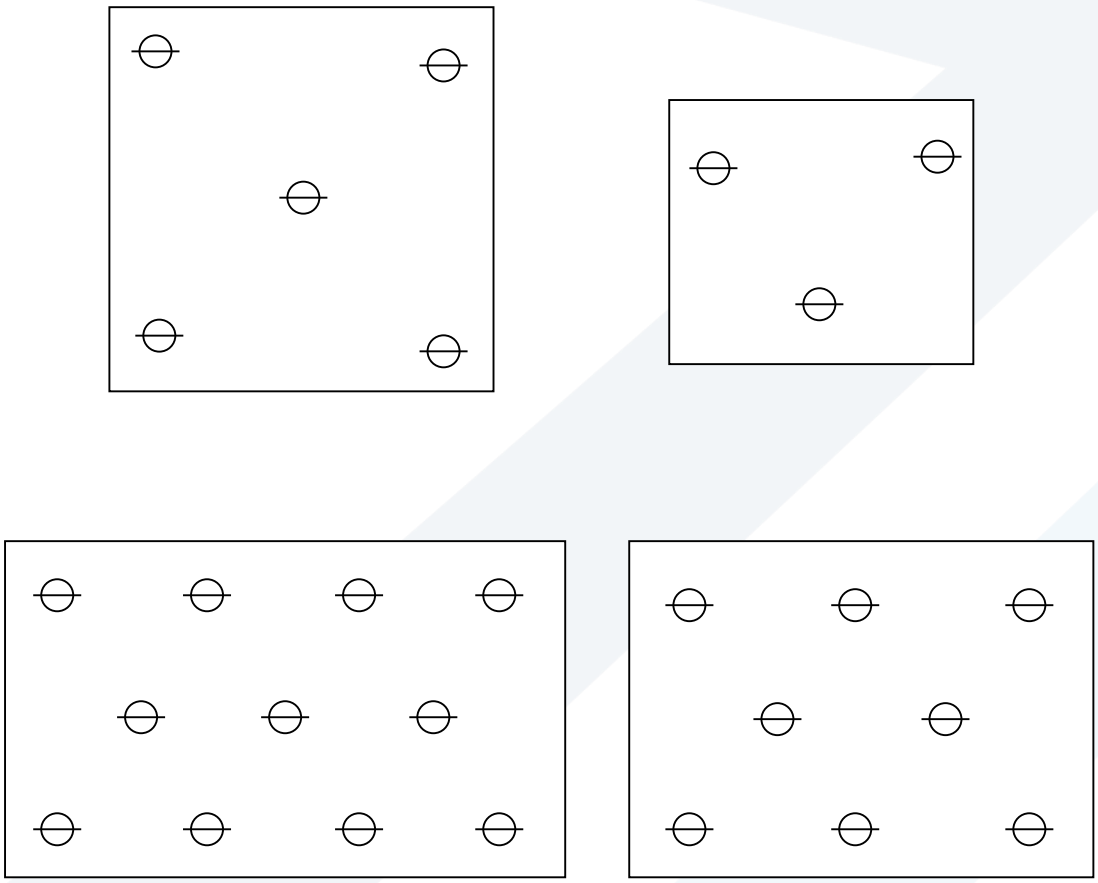
الشكل 2-7 : تمثيل توضيحي لعملية الحفر الدرواني مع الماء

توزع السبوروعددها وتباعداتها وأعماقها

يتم تحديد أماكن السبور وعددها وأعماقها في مخطط الاستكشافات الحقلية اعتماداً على الكود المستخدم في الدراسة . سنستعرض فيما يلي توصيات إدارة الطرق المركزية الأمريكية (FHWA) وتوصيات الكود العربي الموحد.

توزع السبور

يجب أن تركز السبور في أماكن المباني والمنشآت المدنية وليس بعيداً عنها, ونورد فيما يلي بعض الأمثلة لتوزع السبور:



الشكل 3-7: بعض الأمثلة لتوزع السبور

عدد وتباعد السبور

يتعلق عدد السبور وتباعداتها بحجم المنشأ وأهميته, ويجب ألا يقل عدد السبور للمشروع مهما كان حجمه عن ثلاثة سبور, وفي بعض الحالات الخاصة, عندما تكون طبقات التربة معروفة تقريباً فيمكن الاكتفاء بسبرين، وبشكل عام كلما زاد عدد السبور كلما زادت المعلومات عن تربة الموقع ولكن يجب الانتباه إلى عدم زيادة عدد السبور كثيراً عن العدد الأصغري المحدد بالكودات وذلك من أجل عدم زيادة كلفة التحريات بشكل كبير.

نورد فيما يلي عدد وتباعد السبور لمختلف أنواع المنشآت الموصى بها من إدارة الطرق المركزية الأمريكية (FHWA) :

a. **المنشآت الكبيرة ذات الأساسات السطحية المتقاربة**: يجب أن يكون تباعد السبور m(15-20)
b. **المنشآت الخفيفة ذات المساحات الكبيرة (مثل المخازن)**: يتم على الأقل اختيار أربعة سبور في الزوايا وسبر في المركز, بحيث لا تقل السبور عن سبر واحد لكل $1000\ m^2$.

c. **الجسور**

- عندما يقل طول الركيزة عن 30m : يجب على الأقل إجراء سبر واحد تحت كل ركيزة
- عندما يزيد طول الركيزة عن 30m : يجب على الأقل إجراء سبرين تحت كل ركيزة

d. **الجدران الاستنادية:**

- عندما يقل طول الجدار عن 30m : يجب على الأقل إجراء سبر واحد تحت الجدار
- عندما يزيد طول الجدار عن 30m : يجب ألا تزيد المسافة بين السبور عن (30-60)m
- في حالة الجدران المثبتة بشدادات, يجب تنفيذ سبور إضافية في جهة الشدادات بتباعدات (30-60)m

e. **الطرق** : يجب ألا تتجاوز المسافة بين السبور 60m

f. **السدود** : يجب أن تتراوح المسافة بين السبور (60-100)m بالإتجاهين.

g. **المنحدرات**: يجب أن يتراوح تباعد السبور (60-120)m في الاتجاه الموازي للمنحدر على ألا يقل عدد السبور عن سبر واحد. أما في الاتجاه العمودي على المنحدر فيجب تنفيذ ثلاثة سبور على الأقل وذلك من أجل دراسة توازن المنحدر.

وفي المواقع ذات المساحات الكبيرة وعندما لا تكون مواقع المنشآت محددة مسبقاً ينصح باختيار شبكة من السبور بالاتجاهين وبتباعدات حوالي 30 متر، ويمكن زيادة هذه التباعدات إذا كانت تربة الموقع معروفة وطبقاتها منتظمة، أما إذا كانت المعلومات المتوفرة عن تربة الموقع قليلة أو تطبقاتها غير منتظمة فيجب تخفيض تباعد شبكة السبور بالاتجاهين.

ملاحظة: في حالة الترب الانتفاخية يكون عدد السبور أكبر مما هو في حالة الترب غير الانتفاخية , حيث يتم عادة اختيار تباعد السبور من 8 إلى 15 متر وأحياناً أقل من ذلك.

أعماق السبور

هناك قاعدة عامة تقتضي بأن يتم الحفر حتى العمق الذي لا تتجاوز عنده الاجهادات المنقولة من الأساس 10% من الاجهادات تحت الأساس مباشرة, ونورد فيما يلي أعماق الحفر اللازمة لمختلف أنواع المنشآت, الموصى بها من إدارة الطرق المركزية الأمريكية (FHWA) :

أ- **الجسور والأبنية:**

الأساسات السطحية:

- عندما لا يتجاوز طول الأساس ضعف عرضه ($L \leq 2B$): يجب الحفر تحت منسوب التأسيس لعمق لا يقل عن 2B .
- عندما يتجاوز طول الأساس خمسة أضعاف عرضه ($L \geq 5B$): يجب الحفر تحت منسوب التأسيس لعمق لا يقل عن 4B .

- إذا كان طول الأساس أكبر من ضعف عرضه وأصغر من خمسة أضعاف عرضه (5B > L > 2B) :يحسب عمق الحفر بطريقة التوسط الخطي.

الأساسات العميقة :

- يجب الحفر تحت أسفل الأوتاد لعمق لا يقل عن 6m
- في حالة الأوتاد المستندة على الصخر, يجب الحفر لعمق لا يقل عن 3m ضمن الصخر.

ب- **الجدران الاستنادية :**

يجب الحفر تحت منسوب التأسيس لعمق لا يقل عن H(0.75-1.5), حيث يمثل H ارتفاع الجدار.

ت- **المنحدرات :**

يجب الحفر على الأقل لعمق 5m تحت الجزء السفلي للمنحدر ويتم زيادة هذا العمق عند احتمال وجود مشكلة في توازن المنحدر نتيجة لوجود طبقة تربة ضعيفة أو لوجود المياه الجوفية على عمق قريب من السطح.

ملاحظات :

أ- عند الحفر حتى الصخر, ينصح بالحفر ضمن الصخر لعمق لا يقل عن 1.5m وذلك للتأكد من استمرارية الصخر.

ب- عندما يتم التأسيس على الصخر مباشرة فإنه يجب الحفر لعمق لا يقل عن 3m ضمن الصخر.

ت- في حالة الترب الانتفاخية يتم الحفر لأعماق أكبر من حالة الترب غير الانتفاخية وبشكل عام يجب أن لا يقل عمق الحفر عن العمق الذي تتغير فيه رطوبة التربة (عمق المنطقة النشطة) ويمتد هذا العمق عادة تحت منسوب التأسيس لعمق من 3 حتى 6 أمتار (أو حتى المنسوب الأدنى للمياه الجوفية).

كما أوصى **الكود العربي الموحد** بما يلي:

عدد وتباعد السبور:

أ- **الأبنية العادية :**

- اختيار سبر كل 300 م2 على ألا يقل عدد السبور عن سبرين للمباني التي مساحتها (100-300)م2 , وفي حالة الأبنية التي تقل مساحتها عن 100 م2 كغرف الحراسة وغرف المولدات فيمكن الاكتفاء بسبر واحد وإذا كان ممكناً فيفضل تنفيذ سبرين. وفي حال المنشآت ذات المساحة الكبيرة فيتحدد عدد السبور بمعدل سبر كل (300-500)م2 .

ب- **السدود وخزانات المياه والجسوروالجدران الاستنادية :**

يتم اختيار السبور بحيث تكون المسافة بينها (50-200)م وذلك تبعاً لتجانس التربة، وتقل المسافة في منتصف المنشأ بحيث تصبح 30م في حالة السدود أو في المناطق الأكثر تحميلاً من الناحية الستاتيكية.

ت- **خطوط المياه والصرف الصحي :**

ينفذ سبر كل 250م في الأراضي الزراعية وكل 150م في الأراضي الصحراوية وسبر في كل من أماكن حفر التفتيش ومحطات الضخ.

ث- **أبراج الكهرباء و الاتصالات**

ينفذ سبر أو سبرين بموقع كل برج ويتوقف ذلك على مساحة أساس البرج

ج- **أكتاف الجسور**

يتم اختيار السبور بحيث تكون المسافة بينها (10-20)م وذلك تبعاً لتجانس التربة وبحيث لايقل عدد السبور عن اثنين بموقع كل كتف.

ح- **الخزانات الأرضية ذات الأبعاد الكبيرة**

يتم اختيار السبور بحيث تكون المسافة بينها (10-20)م وذلك تبعاً لتجانس التربة

<u>أعماق السبور:</u>

أ- **الأبنية العادية :**

- لا يقل عمق السبور عن 10م ويزداد العمق تبعاً لطبيعة التربة ولطبيعة المنشأ وحمولاته. وفي حالة الأساسات العميق فيتم اختيار عمق السبور بحيث يتم الحفر حتى عمق لا يقل عن 5م تحت نهاية الوتد.

ب- **السدود وخزانات المياه والجسوروالجدران الاستنادية :**

يجب ألا يقل عمق السبور عن مرتين ارتفاع الجدار مقاساً من منسوب الأرض أمام الجدار. وفي حالة الجسور فيجب ألا يقل عمق السبور عن مرة ونصف عرض الجسر, ويتم زيادة هذا العمق في حال ظهور طبقات تربة ضعيفة. كما يجب أن تصل أعماق السبور لأعماق تتجاور سطوح الانزلاق الممكنة في حالة المنحدرات.

ت- **خطوط المياه والصرف الصحي :**

يجب ألا يقل عمق السبر عن 5م وبحيث يكون عمق السبر أسفل الرأس السفلي لانبوب المياه أو قسطل الصرف الصحي بقدر لا يقل عن 6 مرات قطر الانبوب أو 3م أيهما أكبر، وفي حال الأعمال الصناعية على الخط فيجب ألا يقل عمق السبر عن 10م.

ث- **أبراج الكهرباء و الاتصالات**

لا يقل عمق السبر عن 15م وفي حال الأبراج التي يزيد ارتفاعها عن 100م فيجب ألا يقل عمق السبر عن 20م.

ج- **أكتاف الجسور**

لا يقل عمق السبر عن 10م ويزداد هذا العمق تبعاً لطبيعة التربة.

ح- **الخزانات الأرضية ذات الأبعاد الكبيرة**

يتم تنفيذ السبور بأعماق كبيرة وخاصة في حالة الترب الرخوة، ويجب تنفيذ ما لا يقل عن 20% من عدد السبور (بحيث لا يقل عن سبرين) بعمق لايقل عن قطر الخزان أو البعد الأصغري للخزان في حالة الخزانات المستطيلة.

بعد تنفيذ السبور يتم رسم العمود الطبقي لكل سبر مبيناً عليه منسوب فوهة السبر ومنسوب بداية ونهاية كل طبقة ومنسوب المياه وسماكة كل طبقة وتوصيفها ومواصفاتها وتصنيفها وأماكن أخذ العينات وأماكن التجارب الحقلية.

7. 6. 4 التجارب الحقلية

تعتبر التجارب الحقلية مهمة من أجل جميع المشاريع, حيث تعطي فكرة جيدة عن قوام التربة, و تصبح ضرورية في بعض الحالات, كحالة الغضار الرخو والرمل المخلخل أو الرمل الواقع تحت منسوب المياه الجوفية, حيث تستخدم نتائجها لحساب بعض خواص التربة التي لا يمكن تحديدها مخبرياً, كما يمكن أن تستخدم نتائجها أحياناً لحساب قدرة تحمل التربة وهبوطها. هناك بعض الكودات التي تشترط إجراء بعض أنواع التجارب الحقلية كتجربة الاختراق النظامية (S.P.T), في جميع السبور التي يتم حفرها. نستعرض فيما يلي أكثرهذه التجارب هي الأكثر استخداماً في مجال الهندسة المدنية كتجربة الاختراق النظامية (S.P.T), وتجربة الاختراق بالمخروط (C.P.T), وتجربة البريسيومتر وتجربة القص بالمروحة وتجارب النفاذية.

<u>تجربة الاختراق النظامية (S.P.T):</u>

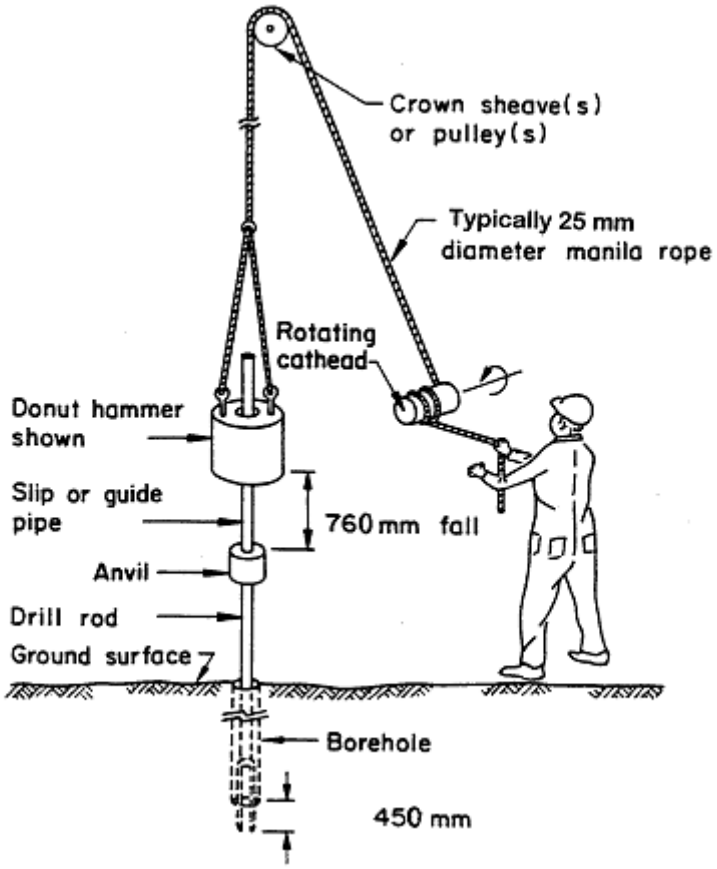
تعتبر هذه التجربة أكثر التجارب الحقلية انتشاراً وتسمح بتحديد مقاومة التربة لغرز اسطوانة ديناميكياً. تتميز هذه التجربة ببساطتها وقلة كلفتها وإمكانية استخدامها في جميع الترب باستثناء الحصى, وهناك الكثير من الجداول والمنحنيات التي تحدد خواص التربة اعتماداً على نتائج هذه التجربة, كما تتوفر طرقاً لتصميم أساسات المنشآت كالأساسات السطحية والأوتاد المدقوقة والردميات الترابية اعتماداً على نتائج هذه التجربة.

تكون التجربة عادة مترافقة مع السبور حيث تجرى في نفس البئر الحفور بواسطة آلة السبر, ويتوجب على تجهيزات الحفر أن تؤمن بئراً نظيفاً مستقر الجوانب قبل البدء بالتجربة, وعندما لا تسمح تربة الموقع بتأمين استقرار جوانب البئر طبيعاً يتم اللجوء إلى وضع قميص للبئر.

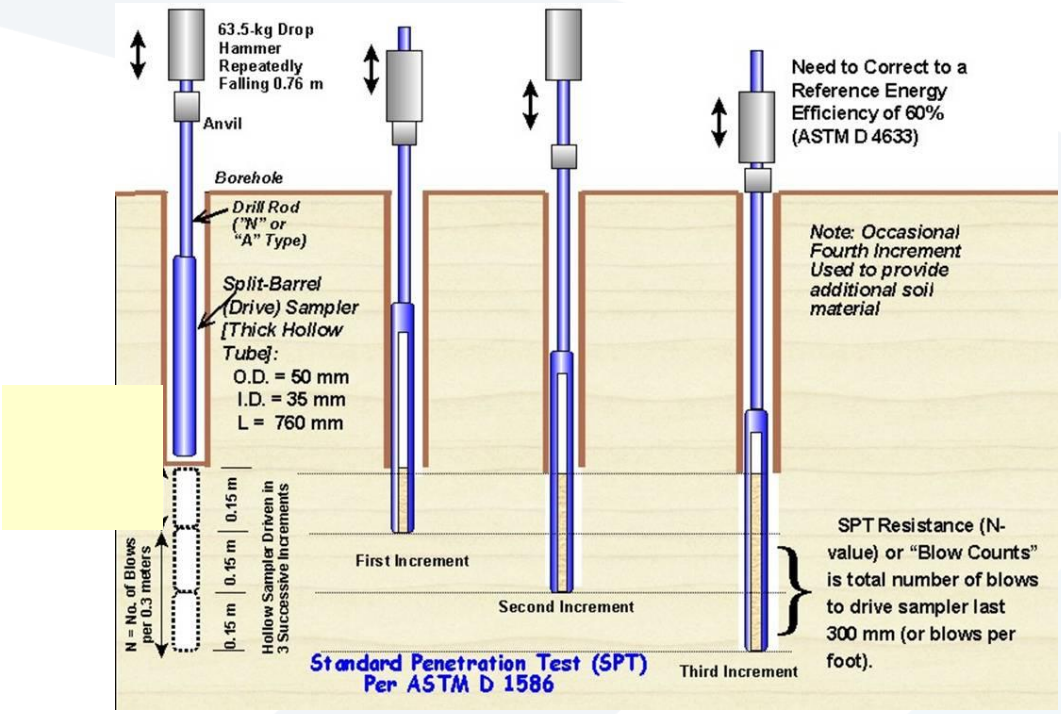
مراحل التجربة :

تتلخص التجربة في السقوط الحر المتكرر لكتلة وزنها 63.5 kg , من ارتفاع قدره 760 mm بتواتر قدره (30-40) مرة في الدقيقة, على اسطوانة مشطورة مشطوفة النهاية (split-barrel), قطرها الخارجي 51mm (والداخلي حوالي 35mm), من أجل غرزها في التربة عمقاً قدره 450 mm. تتم عملية الغرز على ثلاث مراحل مقدار كل منها 150mm. تعتبر المرحلة الأولى كمرحلة تثبيت وتوجيه للاسطوانة وتعتبر هذه المرحلة منتهية إذا زاد عدد الضربات عن 25 ضربة, وتتم متابعة المرحلتين الثانية والثالثة وتسجل عدد الضربات لكل مرحلة, ثم تجمع عدد الضربات للمرحلتين الأخيرتين وتدعى بمقاومة ال SPT ويرمز لها بـ N , وتعبر عن عدد الضربات اللازمة لغرز الاسطوانة مسافة 300 mm في التربة.

تعتبر التجربة منتهية إذا زاد عدد الضربات المسجل عن 50 ضربة, كما تعتبر التجربة مرفوضة إذا زاد عدد الضربات المسجل عن 50 ضربة من أجل غرز 25mm من الاسطوانة (الشكلين 4-7 و 5-7).



الشكل 4-7: تجربة الاختراق النظامي الكلاسيكية



الشكل 5-7: مراحل إجراء تجربة الاختراق النظامية

تتعلق نتائج التجربة بالتجهيزات المستخدمة ويمكن تلخيص العوامل المؤثرة على التجربة كالتالي :

الأسباب	النتائج	التأثير على N
البئر غير نظيف	التربة المختبرة مقلقلة ولا تعبر عن التربة عند العمق المختبر	نقصان
عدم دقة ارتفاع السقوط	طاقة المطرقة متغيرة وعادة تتجه نحو الانخفاض	زيادة
وزن المطرقة غير دقيق	تغير في طاقة المطرقة	زيادة أو نقصان
سقوط المطرقة غير مركزي	انخفاض في طاقة المطرقة	زيادة
نقصان في السقوط الحر للمطرقة نتيجة للاحتكاك	انخفاض في طاقة المطرقة	زيادة
الاسطوانة تنغرز أعلى من منسوب أسفل قميص البئر	الاسطوانة تنغرز في تربة مقلقلة ولا تعبر عن التربة عند العمق المختبر	زيادة كبيرة

عدم الدقة في إحصاء عدد الضربات	نتائج غير دقيقة	زيادة أو نقصان
استخدام مطرقة غير نظامية	لا يمكن استخدام العلاقات والمنحنيات التي تسمح بتحديد بعض خواص التربة اعتماداً على N	زيادة أو نقصان
وجود نسبة كبيرة من البحص والحجارة في التربة	يمكن أن تنسد الاسطوانة أو يعاق غرزها	زيادة
انحناء أنابيب الحفر	كبح نقل الطاقة إلى الاسطوانة	زيادة

الجدول 1-7:

البارامترات المقاسة :

يتم في التجربة قياس N مباشرة كما يمكن حساب مردود التجربة وذلك بتقسيم الطاقة الحركية KE ($KE=1/2mv^2$) على الطاقة الكلية PE ($PE=mgh$) ويرمز للمردود بـ ER ($ER=KE/PE$), حيث h ارتفاع سقوط المطرقة, m كتلة المطرقة, v سرعة سقوط المطرقة, g تسارع الجاذبية الأرضية.

في الولايات المتحدة الأمريكية, جميع العلاقات والمنحنيات التقريبية التي تربط بين N وبعض خواص التربة, معطاة من أجل مردود $ER=60\%$, ويرمز لـ N بـ N60 .

هناك العديد من عوامل التصحيح الضرورية لقيم N المقاسة حقلياً وذلك بسبب اختلاف مردود ومراحل التجربة عما هو محدد في الشروط النظامية للتجربة. يمكن الحصول على N المصححة بالعلاقة التالية :

$$N60=N_{means}\ CE\ CB\ CS\ CR$$

حيث,

CE عامل تصحيح يأخذ بعين الاعتبار طاقة المطرقة, وتعبر عن نسبة مردود التجربة إلى المردود المعياري 60% ($CE=ER/60$)

CB عامل تصحيح خاص بقطر البئر

CS عامل تصحيح خاص بالاسطوانة

CR عامل تصحيح خاص بطول أنابيب الحفر

نلخص في الجدول التالي قيم عوامل التصحيح

عامل التصحيح	التجهيزات المستخدمة	قيمة عامل التصحيح
CB	قطر البئر :	
	(65-115)mm	1.0
	150mm	1.05
	200 mm	1.15
CS	اسطوانة نظامية	1.0
	اسطوانة غير نظامية	1.1-1.3
CR	طول أنابيب الحفر :	
	(3-4)m	0.75
	(4-6)m	0.85
	(6-10)m	0.95
	>10m	1.0

الجدول 2-7:

يبين الجدول 3-7 قيماً تقريبية للوزن الحجمي ولمقاومة الضغط الحر ولقوام التربة اعتماداً على قيم N المسجلة حقلياً للغضار.

قوام التربة	SPT ضربة/قدم N60	الوزن الحجمي kN/m^3	q_u (=2C) kN/m^2
رخوة جداً	0-2	< (15.7-17.3)	0-24
رخوة	3-4	15.7-18.9	24-48
متوسطة القساوة	5-8	17.3-19.7	48-95
قاسية	9-16	18.1-20.4	95-190
عالية القساوة	16-32	18.9-22.0	190-380
صلبة	>32	>20.4	>380

الجدول 3-7: بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب المتماسكة اعتماداً على تجربة الـ SPT

الترب المفككة

في حالة الترب المفككة تتعلق N بضغط التربة الشاقولي الفعال الأولي σ'_{v0} حيث تزداد N بزيادة σ'_{v0} ، لذلك يتم عادة تصحيح N_{60} بحيث تصبح من أجل ضغط مساوٍ للضغط الجوي (100 kPa). يرمز لعدد الضربات المصحح بـ $(N_1)_{60}$, ويعطى بالعلاقة :

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

حيث, $C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}\right)^n$

Pa الضغط الجوي مقدراً بنفس واحدات σ'_{v0}

n ثابت يتعلق بنوع التربة ويكون مساوياً 1 للغضار و (0.5-0.6) للرمل.

هناك علاقات أخرى لحساب C_N, نذكر منها :

$$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{2000}{\sigma'_{v0}} \leq 2 \qquad (Peck,\ Hanson\ and\ Thornburn)$$

$$\left.\begin{aligned} C_N &= \frac{4}{1+0.04\sigma'_{v0}} \quad for \quad \sigma'_{v0} \leq 75\ kN/m^2 \\ C_N &= \frac{4}{3.25+0.01\sigma'_{v0}} \quad for \quad \sigma'_{v0} > 75\ kN/m^2 \end{aligned}\right\} \quad (Bazzara)$$

كما يقترح البعض تصحيح N_{60} بحيث تأخذ بعين الاعتبار تأثير المياه الجوفية, نذكر بعض العلاقات التي تعطي عامل التصحيح Cw :

$$C_w = 0.5 + \frac{Z_w}{D_f + B} \le 1 \qquad \text{(Peck, Hanson and thornburn)}$$

حيث Z_w بعد سطح المياه الجوفية عن منسوب التأسيس, ويعطى بالعلاقة :

$$Z_w = D_w - D_f \ge 0$$

يبين الجدول 4-7 قيماً تقريبية للكثافة النسبية اعتماداً على قيم $(N1)_{60}$ للرمل.

الكثافة النسبية %	SPT $(N1)_{60}$ ضربة/قدم
0-5	0-5
5-30	5-10
30-60	10-30
60-95	30-50

الجدول 4-7: الكثافة النسبية بدلالة قيم $(N1)_{60}$ للرمل

وهناك علاقات تجريبية لحساب زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة للرمل بدلالة $(N1)_{60}$ (Peck, Hanson and Thornburn, 1974) :

$$\phi'(\text{deg}) = 27.1 + 0.3(N1)_{60} - 0.00054\,(N1)_{60}^2$$

وهناك أيضاً علاقات تجريبية لحساب زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة للرمل بدلالة N60 (Schmertmann, 1975)

$$\phi' = \tan^{-1}\left[\frac{N_{60}}{12.2 + 20.3(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a})}\right]^{0.34}$$

يبين الجدول 5-7 قيماً تقريبية لزاوية الاحتكاك الداخلي والوزن الحجمي اعتماداً على قيم N60 المسجلة حقلياً للرمل.

حالة التربة	SPT N ضربة/قدم	زاوية الاحتكاك الداخلية	الوزن الحجمي kN/m^3	
			الرطب	المغمور
مخلخلة جداً	0-4	<28	<16	<9.6
مخلخلة	5-10	28-30	15.2-20	8.8-10.4
متوسطة التراص	11-30	31-36	17.6-20.8	9.6-11.2
متراصة	31-50	37-41	17.6-22.4	10.4-13.6
عالية التراص	>50	>41	>20.6	>12

الجدول 5-7: بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب المفككة اعتماداً على تجربة الـ SPT

5.6.7 التجارب المخبرية

تتعلق نوعية العينات المخبرية بنوعية البرنامج المتبع في الحقل والمخبر, فيمكن أن يطرأ تغير كبير على خواص العينات نتيجة للتخزين غير الجيد ولنقل وتجهيز العينات, مما يؤدي إلى الحصول على نتائج وهمية وبالتالي تصميماً غير صحيح للمنشأ.

أ- <u>استخراج العينات وتسميتها</u>

يتم استخراج العينة من الاسطوانة بحذر شديد ويؤخذ القسم السفلي منها بطول 300 mm تقريباً, ويتم تغليفها من أجل المحافظة على رطوبتها, ويتم تسميتها باستخدام أقلام لا تتأثر بالمياه كأقلام الرصاص مثلاً, حيث تسجل عليها المعلومات التالية على ورقة خاصة تغلف بكيس من النايلون وتوضع مع العينة :

i. اسم المشروع والموقع
ii. رقم السبر أو الحفرة الاستكشافية
iii. رقم العينة
iv. عمق العينة
v. تاريخ أخذ العينة
vi. مقاومة الاختراق N وقطر السبر.

ب- **نقل وتخزين العينات**

ينبغي نقل وتخزين العينات السليمة بالشكل الذي يسمح بالمحافظة على تركيبها وعلى رطوبتها قريبة من وضعها الطبيعي, فيجب حفظ العينات في صناديق أو أوعية خاصة وعدم تعريضها للشمس ولو لوقت قصير, كما يجب أن تحفظ في وضع شاقولي مماثل لوضعها الطبيعي. إن التخزين الطويل للعينات يتطلب مراقبة درجة حرارة الوسط المحيط, ويجب المحافظة على نسبة تزيد عن 90% من رطوبتها الطبيعية, كما ينصح بعدم تخزين العينات المتماسكة لمدة طويلة في اسطوانات معدنية وذلك لإمكانية تآكل السطح الداخلي للاسطوانات المعدنية مما يجعل نزع العينات صعباً وقد يؤدي إلى حصول انهيار داخلي موضعي للعينة قد لا يرى بالعين المجردة. بشكل عام يفضل عدم تخزين العينات لفترة طويلة حتى في أفضل شروط التخزين, فيمكن أن يحصل تغير في خواص العينات. لقد أظهرت الأبحاث أن العينات المخزنة أكثر من 15 يوم يحصل فيها تغيرات هامة في خواصها وتعطي غالباً نتائج غير صحيحة.

ت- **اختيار العينات**

يتم عادة اختبار عدد محدود من العينات يتم اختيارها من بين العينات المأخوذة من الموقع, ويجب أن تكون العينات المختارة ممثلة لتوضعات تربة الموقع وليس فقط أسوأ وأفضل تربة, وتعتبر هذه الخطوة واحدة من أهم عوامل الحصول على التوصيف الصحيح لخواص تربة الموقع. من أجل الاختيار الصحيح للعينات ينصح بما يلي :

1- الفهم الصحيح لجيولوجية الموقع عن طريق مراجعة المقاطع الجيوتكنيكية التي تم رسمها اعتماداً على السبور المنفذة في الموقع.
2- فحص كافة العينات المأخوذة من الموقع عينياً وتوصيفها جيداً.
3- تسجيل كافة الملاحظات التي يمكن أن تساعد في تفسير نتائج التجارب المخبرية.

ث- **تحضير العينات**

إن عدم العناية بتحضير العينات السليمة يمكن أن يسبب قلقلة هامة وتغيراً في خواص التربة, ولتفادي ذلك ينصح بما يلي :

1- تحضير العينات من قبل أشخاص اختصاصيين يحيث يتم المحافظة على تركيبها ورطوبتها.

2- استخدام سكاكين نظيفة ومشحوذة جيداً في تحضير العينات

3- يجب أن يكون زمن تحضير العينة أصغرياً وخاصة عندما يكون من الصعب المحافظة على رطوبة العينة.

4-عدم التعرض للشمس أو الأمطار عند تحضير العينات.

ج- **تعيير الأجهزة المخبرية**

يجب فحص وتعيير الأجهزة المخبرية بشكل دوري وخاصة الأفران والمناخل (40 و 200 بشكل خاص) والموازين وساعات القياس والقوارئ التنزومترية وحلقات التحميل وذلك للتأكد من دقتها واستبعاد العوامل المسببة ذ1للأخطاء.

ح- **اختيار التجارب المخبرية**

يقوم المهندس الجيوتكنيكي من ذوي الخبرة بتحديد نوع وعدد التجارب المخبرية اعتماداً على المعلومات التالية :

1- نوع المشروع (جسر – رافعة – سد – مبنى ... الخ).
2- حجم المشروع.
3- التغير الشاقولي والأفقي لتربة الموقع.
4- نوع الأساسات المحتمل استخدامها والتي يمكن التنبؤ بها اعتماداً على التوصيف العيني لعينات التربة وعلى الحمولات المنقولة إلى التربة.
5- الاعتقاد باحتمال ظهور مشاكل خاصة في التربة في بعض أماكن المشروع (مثلاً : الانتفاخ – الهبوط الكبير وفرق الهبوط – المواد العضوية ... الخ), ويتم تقدير ذلك أيضاً انطلاقاً من التوصيف العيني لعينات التربة.

يتم عادة اختيار التجارب المخبرية بشكل أولي (جدول 1.1) ثم تستكمل التجارب انطلاقاً من النتائج الأولية للتجارب إلى أن يتمكن المهندس الجيوتكنيكي من الحصول على النتائج الكافية لوضع مقطع جيوتكنيكي كامل يتضمن خواص التربة المطلوبة للتصميم