EXPRO
هيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية
Expenditure Efficiency & Projects Authority

الدليل الوطني لإدارة المشاريع

المجلد 6، الفصل 7

الإرشادات الجيوتقنية

رقم الوثيقة: EPM-KE0-GL-000002-AR

رقم الإصدار: 000

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

جدول المراجعات

رقم الإصدار	التاريخ	سبب الإصدار
000	15/08/2021	للاستخدام

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

يجب وضع هذا الإشعار على جميع نسخ هذا المستند

إشعار هام وإخلاء مسؤولية

هذه "الوثيقة" هي ملكية حصرية لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية.

يعد هذا الإشعار والشروط الواردة به جزءاً لا يتجزأ من هذا المستند. ويجوز للجهات العامة الإفصاح عن محتوى هذا المستند أو جزءٍ منه لمستشاريها و/أو المتعاقدين معها، شريطة أن يتضمن هذا الإشعار.

أي استخدام أو إجراءات تنبثق عن هذا المستند أو جزءٍ منه، من قبل أي طرف، بما في ذلك الجهات العامة و/أو مستشاريها و/أو المتعاقدين معها، يكون على المسؤولية التامة لذلك الطرف ويتحمل المخاطر المرتبطة به. وتخلي الهيئة مسؤوليتها للحد المسموح به نظاماً عن أي تبعيات (بما في ذلك الخسائر والأضرار مهما كانت طبيعتها والتي يُرفع بها مطالبات بصرف النظر عن الأسس التي بُنيت عليها بما في ذلك الإهمال أو خلافه) تجاه أي طرف ثالث تكون ناتجة عن أو ذات علاقة باستخدام هذا المستند بما في ذلك الإهمال أو التقصير.

تسري صلاحية هذا المستند وما تضمنه من محتويات استناداً على الشروط الواردة به واعتباراً من تاريخ إصداره.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الفهرس

1.0 **مقدّمة** **10**

2.0 **التعريفات والاختصارات** **11**

2.1 التعريفات 11

2.2 الاختصارات 12

3.0 **الأكواد والمعايير والمراجع** **13**

3.1 الأكواد 13

3.2 معايير التصميم 13

3.3 المراجع 13

3.4 معايير الطرف الثالث 13

4.0 **المتطلبات الجيوتقنية** **14**

4.1 متطلبات عامة 14

4.2 تقرير التصميم الجيوتقني 14

4.3 برامج الكمبيوتر وجداول البيانات 15

5.0 **الشروط الجيولوجية والجيوتقنية في المملكة العربية السعودية** **15**

5.1 البيئة الجيولوجية 15

5.2 المشاكل الجيوتقنية 16

5.3 التقييم الزلزالي 16

5.3.1 متطلبات تصميم الأساس الزلزالي 16

5.3.2 تصنيف الموقع الزلزالي 17

5.3.3 تقييم مخاطر الزلازل 17

5.3.4 ضغط الأرض الجانبي الزلزالي 17

6.0 **التحقيق عن طريق فتحات الاختبار** **18**

6.1 متطلبات الفتحات 18

6.2 أنواع التحقيقات بشأن الفتحات 18

6.2.1 عمليات مد الأنابيب بالضغط والحفر الأفقي 18

6.2.2 مثاقب الدفع 18

6.2.3 حُفر الاختبار 19

6.2.4 اختبار الاختراق المخروطي 19

6.2.5 الثقوب غير المضطربة 19

6.2.6 عمل الثقوب في الصخور 19

6.3 تكرار وعمق ثقوب الحفر 19

6.3.1 إنشاء مواقع ثقوب الحفر والارتفاعات 21

6.3.2 التربة المشكوك فيها 21

6.4 أخذ العينات 21

6.5 سجلات الحفر 22

7.0 **تقييم المياه الجوفية** **23**

7.1 متطلبات عامة 23

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

7.2 تقييم ظروف المياه الجوفية.....23
7.3 قياس المياه الجوفية - مستويات المياه (الضغوط).....23
7.3.1 الآبار الموجودة.....23
7.3.2 ثقوب الحفر المفتوحة.....24
7.3.3 آبار المراقبة.....24
7.3.4 مقاييس الضغط.....24
7.4 قياس المياه الجوفية - إمكانية التوصيل الهيدروليكي.....24
8.0 المعدات الجيوتقنية 24
8.1 المعدات الميدانية العامة.....24
8.2 معدات الوقاية الشخصية.....25
8.3 معدات وطرق الحفر.....25
8.3.1 مثقاب الدوران المستمر ذو الساق الصلب (D 1452ASTM).....25
8.3.2 مثقاب الدوران المستمر ذو الساق المجوف (D 6151ASTM).....25
8.3.3 مثقاب الغسيل الدوار (D 5783ASTM).....25
8.3.4 مثاقب الدلو (D 6907ASTM).....25
8.3.5 المثاقب/الحفارات اليدوية (D 1452ASTM).....25
8.3.6 الحفارات الميكانيكية.....26
8.3.7 حفر عينة الصخور الجوفية (D 2113ASTM).....26
8.3.8 الحفر لغير أغراض العينات اللبية (التدميري).....26
8.4 معدات أخذ العينات.....26
8.4.1 أخذ عينات التربة.....26
8.4.2 أخذ عينات من الصخور.....27
9.0 الاختبار في الموقع 27
9.1 اختبار الاختراق القياسي.....27
9.2 اختبار الاختراق المخروطي.....28
9.3 مقياس الضغط.....28
9.4 ريشة المجال.....28
9.5 مقياس تمدد اللوحة المستوية.....29
9.6 اختبار القص المباشر.....29
9.7 اختبار تحميل اللوحة.....29
9.8 توصيف طبقة المياه الجوفية.....29
9.9 الاختبارات الأخرى في الموقع.....30
10.0 الاختبار الجيوفيزيائي 30
10.1 متطلبات عامة.....30
10.1.1 المزايا.....30
10.1.2 السلبيات.....30
10.2 طرق الاختبار الجيوفيزيائية.....31
10.2.1 الموجات الميكانيكية.....31
10.2.2 الموجات الكهرومغناطيسية.....32

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

10.3 إجراء الاختبارات الجيوفيزيائية 32
10.4 إعداد التقارير 33
11.0 الاختبار المعملي 33
11.1 متطلبات عامة 33
11.2 اختيار عينة للاختبار 33
11.3 التصنيف الهندسي واختبارات الخواص 34
11.3.1 الصخور 34
11.3.2 التربة 35
12.0 الدراسات الجيوتقنية في البحر 36
12.1 مقدّمة 36
12.2 موارد مفيدة 37
12.3 الاعتبارات الرئيسية 37
12.4 أنواع التحقيق 38
12.4.1 دراسة أولية (مكتبية) 38
12.4.2 المسح الجيوفيزيائي 38
12.4.3 التحقيق الجيوتقني للاختراق الضحل 39
12.4.4 التحقيق الجيوتقني للاختراق العميق 39
12.5 تقنيات الحفر وأخذ العينات الجيوتقنية 39
12.5.1 عمليات حفر التربة 39
12.5.2 حفر الصخور 39
12.5.3 حفارات قاع البحر 39
12.5.4 أدوات استخراج عينات الصخور الجوفية وأخذ العينات المختلفة 40
12.6 الاختبار في الموقع 40
12.6.1 اختبار الاختراق المخروطي 40
12.6.2 اختبار ريشة القص 41
12.6.3 الاختبارات الأخرى في الموقع 41
12.7 السفن، والمنصات وأنظمة النشر 41
12.7.1 سفن الحفر الجيوتقنية 41
12.7.2 السفن المحولة 41
12.7.3 الصنادل 42
12.7.4 المنصات ذاتية الرفع 42
12.7.5 المركبات ذات العجلات العالية/البرمائية 42
12.7.6 أنظمة التحكم عن بُعد 42
12.8 تحديد المواقع والرسو 42
12.9 الاختبار المعملي 42
13.0 تقرير البيانات الجيوتقنية 43
14.0 تفسير الظروف الجيوتقنية 44
14.1 المقاطع الجانبية تحت السطحية 44
14.2 قيم تصميم خصائص التربة والصخور 44

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

14.2.1 التربة 44
14.2.2 الصخور 45
15.0 تصميم الأساسات 45
15.1 الأساسات السطحية 45
15.1.1 متطلبات عامة 45
15.1.2 عمق تبييت الأنابيب 46
15.1.3 قدرة تحمل الأساسات السطحية 46
15.1.4 هبوط الأساسات السطحية 49
15.1.5 النماذج الحاسوبية 51
15.2 الأساسات العميقة 51
15.2.1 أنواع الركائز 51
15.2.2 اعتبارات التصميم 52
15.2.3 القدرة المحورية 52
15.2.4 القدرة الجانبية 54
15.2.5 قدرة الركائز من اختبارات الحِمل 54
15.2.6 اختبارات ضمان الجودة والسلامة 55
15.3 الجدران الساندة 55
15.3.1 متطلبات عامة 55
15.3.2 اعتبارات التصميم 56
15.3.3 التفاعل بين التربة والهيكل الإنشائي 57
15.4 تقنيات تحسين التربة 57
15.4.1 متطلبات عامة 57
15.4.2 الممارسات المحلية 58
15.4.3 التحقق من تقنيات تحسين التربة وتقييمها 59
16.0 تحليل المياه الجوفية والتسريب 59
16.1 متطلبات عامة 59
16.2 المياه الجوفية 59
16.2.1 تقييم المياه الجوفية 59
16.3 التسرب 60
16.3.1 تقييم التسرب 60
16.3.2 تحليل التسرب 60
16.3.3 التطبيقات الحاسوبية في تحليل التسرب 60
16.3.4 عناصر السلامة لتحليل التسرب. 60
16.3.5 السيطرة على المياه الجوفية 61
17.0 اعتبارات تتعلق بأعمال الحفر 61
17.1 تقييم أعمال الردم وأرضية الأساس 61
17.2 الفحوصات المختبرية لمواد الردم وأرضية الأساس 62
17.3 تقييم مواد الردم وأرضية الأساس 62
17.4 متطلبات اختيار مواد الردم والتحديد والدمك والاختبار 62

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

17.4.1 الردم الإنشائي..... 62
17.4.2 مواد الردم الشائعة..... 63
17.4.3 اختبار مواد الردم المضغوطة..... 63
18.0 تحليل ثبات المنحدر والتصميم 63
18.1 متطلبات عامة..... 63
18.2 أنواع حركات المنحدرات ووضعيات الفشل..... 63
18.3 العوامل التي تسبب فشل المنحدرات..... 64
18.4 الإجراءات الواجب اتباعها قبل إجراء تحاليل ثبات المنحدر..... 64
18.5 ظروف التحميل..... 64
18.6 وسائل تحليل ثبات المنحدر..... 64
18.6.1 طريقة التوازن الحدي..... 64
18.6.2 طريقة الاستمرارية (عنصر محدد، الفوارق المحدودة)..... 65
18.7 عوامل السلامة وإجراءات التصميم وفقًا لعنصر الحِمل والمقاومة..... 66
18.8 استخدام البرامج الحاسوبية في تحليل الثبات..... 66
18.9 تحسين ثبات المنحدرات..... 67
19.0 طرق بلا خنادق وحفر أنفاق دقيقة 67
19.1 متطلبات عامة..... 67
19.2 الاستخدامات النموذجية..... 68
19.3 الوسائل الشائعة للأعمال بدون خنادق..... 68
19.4 الاعتبارات المتعلقة بالمخاطر..... 68
19.5 تقييم خيارات المشروع..... 68
20.0 حفر الأنفاق 69
20.1 متطلبات عامة..... 69
20.2 أنواع الأنفاق المختارة..... 69
20.2.1 أنفاق الحفر والتغطية..... 69
20.2.2 الأنفاق المشيدة آليًا..... 69
20.2.3 أنفاق الطريقة النمساوية الجديدة (NATM)..... 70
20.2.4 الحفر والتفجير..... 70
20.2.5 الرفع بالضغط الهيدروليكي في التربة..... 70
20.3 أنواع مشاريع حفر الأنفاق..... 70
20.3.1 الأنفاق المائية..... 70
20.3.2 أنفاق المجاري والصرف الصحي..... 71
20.3.3 أنفاق الطرق والسكك الحديدية..... 71
20.4 حفر الأنفاق في الصخور والتربة..... 71
20.4.1 حفر الأنفاق في الصخور..... 71
20.4.2 حفر الأنفاق في المواد الناعمة..... 71
20.5 تبطين النفق..... 72
20.5.1 متطلبات عامة..... 72
20.5.2 تفاصيل البطانة الخرسانية..... 72

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

20.6 أعمدة النفق 72
20.7 تقييم خيارات نفق المشروع 73
21.0 **الملحق أ:** **73**
21.1 المعايير 73
21.2 المراجع 75

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الجزء أ. بنود عامة

يغطي الجزء أ من هذا الدليل الإرشادي التعريفات، والاختصارات، والأكواد، والمعايير والمراجع، بالإضافة إلى المتطلبات والشروط الجيوتقنية العامة (الأقسام 1 إلى 5).

بينما يغطي الجزء ب التحقيق الجيوتقني (الأقسام 6 إلى 13).

ويغطي الجزء ج التصميم الجيوتقني (الأقسام من 14 إلى 20).

ترد قوائم المعايير والمراجع في الملحق أ (القسم 21).

1.0مقدّمة

تنطبق أحكام هذا الدليل الإرشادي على اختصاصي التصميم المسؤول عن التحقيق الجيوتقني وأعمال التصميم الجيوتقني، بشكل كلي أو جزئي. ينطبق المصطلح A/E (الإنشائي/الهندسي) المستخدم هنا على على المهندس المسؤول عن عمل/إجراء التحقيق الجيوتقني وأداء أعمال التصميم الجيوتقني.

يقدم هذا الدليل الإرشادي الحالة العامة لممارسة التحقيقات الجيوتقنية، ويقدم إرشادات عامة لتطوير برنامج التحقيق الجيوتقني وتنفيذ، في الداخل والخارج. يوفر دليلًا إرشاديًا عامًا للعمل الجيوتقني والتصميم، ويعرض الحالة العامة لممارسة برامج التحقيق الجيوتقني، والتحليلات، والتصميم الجيوتقني المطلوب لتشييد المرافق (المباني، النقل، خطوط الأنابيب، وما إلى ذلك). يقدم هذا الدليل الإرشادي منهجيات لتفسير طرق التحقيق المختلفة، ووضع معايير التربة والصخور المناسبة للتطبيقات الهندسية بالإضافة إلى التحليل والتصميم اللاحقين.

جميع أعمال الهندسة الجيوتقنية ذات طبيعة خاصة بالموقع. من المفهوم أن الإجراءات التي تمت مناقشتها في هذا الدليل الإرشادي تخضع للتغيّرات المحلية. لذلك، من المهم لمهندس التخصص المعماري/الهندسي الرئيسي أن يكون على دراية كاملة بالتحقيقات الجيوتقنية المحلية وممارسات الهندسة الجيوتقنية. يتطلب التنفيذ السليم لبرنامج التحقيق الجيوتقني فهمًا شاملاً لتقنيات التحقيق تحت السطحي، بما في ذلك الطرق الجيوفيزيائية والاختبارات المعملية لعينات التربة والصخور. وبالمثل، يتطلب التنفيذ السليم لنطاق عمل الهندسة الجيوتقنية فهمًا شاملاً لمبادئ وممارسات الهندسة الجيوتقنية، بما في ذلك إجراءات التصميم، وطرق تشييد المرفق والغرض المخطط له، ويكمل ذلك المعرفة العملية بالجيولوجيا والجيولوجيا المائية.

يجب تنفيذ جميع الأعمال الجيوتقنية وفقًا لأحدث كود بناء سعودي (SBC) كما نشرته اللجنة الوطنية لكود البناء السعودي. في حال عدم الإشارة إلى كود أو معيار داخل كود البناء السعودي، ولكن تم اقتراح كود بديل، عندئذٍ يتم استخدام أحدث إصدار، والملاحق، والتعديلات، والأخطاء، وما إلى ذلك للكود البديل، ما لم يُذكر خلاف ذلك. ويجب مراجعة الأخطاء لجميع الأكواد والمعايير.

في حال وجود اختلاف في المنهجية أو المصطلحات بين الكود أو المعيار وكود البناء السعودي، يجب التوفيق بين المنهجيات والمصطلحات المختلفة قبل بدء التحقيق الجيوتقني والتصميم اللاحق، ويتعين وصف هذا التوفيق في تقرير البيانات الجيوتقنية، وتقرير التصميم الجيوتقني، والمواصفات، والحسابات، والوثائق الأخرى.

يجب استخدام ترميز ومصطلحات كود البناء السعودي في جميع وثائق الهندسة والتشييد.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

يجب أن يحتفظ الاستشاري المعماري/الهندسي في كل مكتب تصميم هندسي بجميع أكواد ومعايير البناء المستخدمة في تصميم الأعمال الجيوتقنية وأن تكون متاحة بسهولة.

ملاحظة مهمة:

في هذه الإرشادات، تم توفير المراجع ومؤشرات التصميم المتعلقة بكود البناء السعودي ومعايير الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل (AASHTO) بناءً على كود البناء السعودي (2018) ومعايير الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة

2.0التعريفات والاختصارات

للحصول على قائمة بالاختصارات العامة، الرجاء الرجوع إلى المجلد 6، الفصل 2 - التعريفات والمراجع (000011-EPM-KE0-GL). تنطبق التعريفات والاختصارات التالية على هذا الدليل الإرشادي الجيوتقني:

2.1 التعريفات

التعريفات	الوصف
المنطقة النشطة	تمثل المنطقة العليا من رواسب التربة التي تتأثر بالتغيُّرات الموسمية في محتوى الرطوبة.
ضغط الأساس المسموح به	يمثل الضغط الرأسي الذي يمارسه الأساس على تشكيل داعم يمكن تحمله بأمان دون التسبب في حدوث تشوه ضار للأساس أو فشل التحمل.
الضغط الجانبي المسموح به	الضغط الجانبي على التربة الذي يمكن تحمله بأمان دون التسبب في فشل القص أو الحركة الجانبية الضارة.
أعمال الردم	تتمثل في قيام التربة بملء خندق أو حفر تحت أو حول مبنى.
ثقب الحفر	حفرة تم حفرها كجزء من تحقيق جيوتقني لجمع عينات من التربة و/أو الصخور.
القيسون	رصيف ذي قطر كبير أو حفرة عميقة محفورة.
التربة القابلة للانهيار	التربة المعرضة للهبوط الكبير والمفاجئ في الحجم عند ترطيبها.
أساس (قاعدة) مشترَك	قاعدة تدعم خط (خطوط) من عمودين أو أكثر.
أعمال الدمك	عملية زيادة الكثافة ومن ثم خصائص مقاومة القص والنفاذية للتربة باستخدام الوسائل الميكانيكية مثل التدحرج أو الاهتزاز.
الأنابيب الفولاذية المملوءة بالخرسانة والأنابيب المثبتة بعمق في التربة	تُبنى عن طريق دفع أنبوب فولاذي أو قطاع من أنبوب في التربة وملء الأنبوب أو قسم من الأنبوب بالخرسانة. يُترك الأنبوب الفولاذي أو قطاع منه في مكانه أثناء وبعد صب الخرسانة.
ضغط التلامس	أو ضغط التربة وهو الضغط الذي يعمل بشكل متعامد مع منطقة التلامس بين القاعدة والتربة، وينتج عن وزن القاعدة وجميع القوى المؤثرة عليها.
الأساس (القاعدة) المستمر أو الشريطي	قاعدة طويلة مقارنة بعرضها وتستخدم عادة لدعم الجدران المتواصلة، على سبيل المثال، جدران البناء و/أو الأعمدة.
الأساسات العميقة	أساس ينقل بعض أو كل الأحمال المطبقة إلى التربة أو الصخور تحت سطح الأرض. تمتد الأساسات العميقة عادةً إلى أعماق تصل إلى 10 أمتار أو أكبر.
ركيزة غير مصبوبة بالدق	يُبنى عن طريق إدخال غلاف فولاذي في التربة ثم يُملأ بالخرسانة. يُرفع الغلاف الفولاذي من الحفرة أثناء صب الخرسانة.
ركيزة مكبَّرة الرأس (ركيزة قاعدة موسعة)	ركيزة خرسانية مصبوبة في المكان مشيدة بقاعدة أكبر من قطر باقي الركيزة. تُصمم القاعدة الموسعة لزيادة مساحة الحامل لحمل الركيزة وبالتالي زيادة قدرة تحملها النهائية.
التربة التمدديّة	تتمتع بإمكانية الانتفاخ أو الانكماش في ظل ظروف الرطوبة المتغيرة.
عامل الأمان	يُطبق على قدرة التحمل وهي قدرة التحمل النهائية مقسومة على قدرة التصميم.
الأساسات	يمثل الجزء من الهيكل الذي يدعم وزن الهيكل وينقل الأحمال إلى التربة أو الصخور الأساسية.
تكوين كارست	(يُعرف أحيانًا باسم الحجر الجيري الكارستي) وهو عبارة عن بيئة جيولوجية تتكون فيها التجاويف في طبقات من الحجر الجيري، والدولوميت، والجبس وما إلى ذلك عن طريق المحلول في المياه المتدفقة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

التعريفات	الوصف
مقاومة الانزلاق الجانبي	هي مقاومة الجدران الهيكلية أو الأساسات للانزلاق الجانبي، وهي وظيفة لاحتكاك الواجهة والتحميل الرأسي.
حالة الحدود	حالة يصبح بعدها الهيكل أو العضو غير صالح للخدمة ويُحكم على أنه لم يعد مفيدًا لوظيفته المقصودة (حالة حد الخدمة) أو غير آمن (حالة حد القوة).
الحصيرة	عبارة عن بلاطة خرسانية مسلحة كبيرة تدعم قطعة من المعدات الثقيلة أو مجموعة من صفوف متعددة من الأعمدة.
أساس الرصيف	عبارة عن عنصر هيكلي خرساني معزول مصبوب في المكان ينقل الأحمال إلى طبقات ثابتة أدناه. بصفة عامة يكون طول الرصيف أقل من أو يساوي 12 ضعف البعد الجانبي الأقل له. انظر "القيسون"
ركائز الأساسات	هو عنصر أساس يتكون من الخرسانة أو الفولاذ الهيكلي الذي ينقل الأحمال الهيكلية عبر طبقات ضعيفة أو رخوة لتصلب التربة الأساسية أو طبقات الصخور. عادة ما يتجاوز طول الركيزة أبعادها الطبيعية بمقدار 12 ضعفًا على الأقل.
عامل المقاومة	عامل يفسر انحرافات القوة الفعلية للتربة أو الصخور عن القوة الاسمية، ويأخذ في الحسبان الطريقة ونتائج الفشل (يُطلق عليه أيضًا "عامل تقليل القوة").
السبخة	مصطلح عربي يشير إلى المسطحات الملحية الساحلية والداخلية التي تتكون نتيجة لترسب الطمي، والطين، والرمل الموحل في المنخفضات الضحلة، وإن كانت واسعة النطاق في بعض الأحيان. وعادة ما تكون رواسب السبخة مشبعة بالمحلول الملحي وغالبًا ما تكون قاحلة ومغطاة بالملح.
الهبوط	حركة هبوط لأساس هيكل أو جزء من هيكل بسبب التحميل الواقع عليه الذي يتسبب في ضغط التربة.
الأساسات السطحية	هي التي يكون عمقها عادة أقل من عرضها، ولا تدعمها أسس عميقة.
المنحدر	هو سطح منحدر من الأرض (من صنع الإنسان أو طبيعي).
القواعد الخرسانية المنفصلة	هي قواعد تدعم أحمال عمود وحيد أو معزول
تدعيم الأساسات	هي عملية الإضافة إلى أو استبدال أساسات هيكل قائم باستخدام الركائز، أو الأرصفة، أو الجدران، أو دعامات الصفائح، أو غيرها من الدعامات للحفاظ على سلامة الهيكل أو لزيادة قدرته على تحمل الأحمال.
منسوب المياه الجوفية	هو الارتفاع أو العمق تحت السطح الذي توجد فيه المياه.

2.2 الاختصارات

الاختصارات	الوصف
AASHTO	الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل
ACI	معهد الخرسانة الأمريكي
API	المعهد الأمريكي للبترول
ARAMCO	شركة الزيت العربية الأمريكية، رسميًا شركة الزيت العربية السعودية
ASCE	الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين
ASD	تصميم الإجهاد المسموح به
ASTM	جمعية ASTM International المعروفة سابقا باسم الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM).
BM	المعيار
CALTRANS	وزارة النقل الأمريكية
CFA	مثقاب مستمر الحركة
CPT	اختبار الاختراق المخروطي
المدير العام	دليل تصميم قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية
EM	دليل الهندسة لسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي
FHWA	الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة
GDR	تقرير التصميم الجيوتقني
IBC	كود البناء الدولي
LRFD	تصميم عامل الحِمل والمقاومة
قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية	قيادة هندسة المنشآت البحرية
NCMA	الرابطة الوطنية للبناء الخرساني
NHCRP	البرنامج الوطني لأبحاث الطرق السريعة التعاونية
NHI	المعهد الوطني للطرق السريعة
PGA	ذروة التسارع الأرضي
RMR	تصنيف الكتل الصخرية
RQD	تحديد جودة الصخور

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الاختصارات	الوصف
ريال سعودي	شركة خطوط السكك الحديدية السعودية
SBC	كود البناء السعودي
SEAPA	هيئة الموانئ البحرية السعودية
SEC	الشركة السعودية للكهرباء
SPT	اختبار الاختراق القياسي
STC	شركة الاتصالات السعودية
SWCC	المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة
TBM	المعيار المؤقت
TBM	آلة حفر الأنفاق
USACE	سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي
USCS	نظام تصنيف التربة الموحد

3.0الأكواد والمعايير والمراجع

يرجى الرجوع إلى المجلد 6، الفصل 5 (الأكواد، والمعايير والمراجع) في قائمة الأكواد، والمعايير وطريقة الاختيار. بالإضافة إلى ما ذكر أعلاه، تطبق الأكواد والمعايير التالية.

3.1 الأكواد

- كود البناء السعودي التصميم الإنشائي
- كود البناء السعودي الاختبار والتحقيق الإنشائي
- كود البناء السعودي التربة، والأساسات والجدران الداعمة
- الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل، مواصفات تصميم جسر باستخدام منهجية تصميم عامل الحمل والمقاومة الصادر عن الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل
- كود البناء الدولي (IBC)

3.2 معايير التصميم

- يجب أن تتوافق جميع الأعمال مع أكواد الصناعة والجمعيات والمعايير ذات الصلة المعمول بها.
- يجب استخدام أحدث نسخة مراجعة للأكواد والمعايير المشار إليها حيثما ينطبق ذلك. في حال وجود تعارض، يجب على مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي اقتراح معدات أو طرق تتوافق مع مجموعة واحدة من المعايير.
- معايير الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد المشار إليها في هذا الدليل الإرشادي مدرجة في الملحق أ.

3.3 المراجع

المراجع المستخدمة في هذا الدليل الإرشادي مدرجة في الملحق أ.

3.4 معايير الطرف الثالث

يجب أن تفي جميع شركات المرافق العامة، والطاقة، والاتصالات وأي مؤسسة أخرى تعمل في نطاق اختصاص الجهة العامة بمتطلبات هذا الدليل الإرشادي وجميع الوثائق المشار إليها هنا.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

بالنسبة للمشاريع بما في ذلك حفر الأنفاق (الأنفاق الدقيقة وغيرها من الطرق الخالية من الخنادق)، وأعمال الموانئ والأعمال البحرية، وشبكات التوزيع الكهربائية العلوية، وشبكات توزيع مياه الشرب ومياه الصرف الصحي، وما إلى ذلك، يجب تلبية متطلبات شركة أرامكو، وشركة السكك الحديدية السعودية، وهيئة الموانئ البحرية السعودية، والسعودية للكهرباء، وشركة الاتصالات السعودية والمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة.

- بالنسبة للمنشآت غير البنائية مثل الجسور، ومعابر خطوط الأنابيب، وأساسات الأبراج وما إلى ذلك، يجب الرجوع إلى متطلبات الرابطة الأمريكية لمسؤولي الطرق السريعة والنقل، والإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، والمعهد الأمريكي للبترول عند وضع مقترحات التحقيق التي يجب أن تخضع للمراجعة والقبول من قبل الجهة العامة.
- في حال وجود تعارض بين متطلبات الجهة العامة ومنظمات المرافق العامة/الخاصة، تسري المتطلبات الأكثر صرامة، على النحو الذي تحدده الجهة العامة.

4.0المتطلبات الجيوتقنية

4.1 متطلبات عامة

يجب أن تتضمن أعمال التحقيق والتصميم الجيوتقني في المملكة العربية السعودية تقييمًا للظروف الجوفية في موقع المشروع، بما في ذلك الجيولوجيا السطحية والمنطقة النشطة. يجب أن يتضمن التقييم تقييمًا لهذه المشاكل الجيوتقنية الرئيسية وتأثيرها المحتمل على التطوير المقترح. للحصول على الحد الأدنى من نطاق التحقيق في الموقع الجيوتقني، بما في ذلك متطلبات الامتثال لتقارير الهندسة الجيوتقنية في المملكة العربية السعودية، ارجع إلى كود البناء السعودي (التربة والأساسات والجدران الداعمة). تم تضمين مزيد من التفاصيل حول متطلبات الحفر الجيوتقني في القسم 6 من هذه الوثيقة. يجب أن يضع التحقيق الجيوتقني في الاعتبار الموقع وظروف الأرض المعيّنة، لا سيما عند مواجهة مشاكل التربة في مشروع معين. يجب الإشارة إلى الأقسام التالية من كود البناء السعودي التي تتناول:

- تصميم للتربة الانتفاخية (التمدديّة)
- تصميم للتربة القابلة للهبوط
- تصميم تربة السبخة.

4.2 تقرير التصميم الجيوتقني

يجب تقديم تقرير التصميم الجيوتقني المكتوب إلى الجهة العامة، ما يوفر تفسيرًا للبيانات الواقعية من تقرير البيانات الجيوتقنية (القسم 13) ويجب أن يتضمن، على سبيل المثال لا الحصر، توفير المعلومات التالية، أو يتم تحديدها بطريقة أخرى في نطاق الأعمال.

- وصف المشروع.
- وصف للموقع ومحيطه، بما في ذلك ملخص لجيولوجيا الموقع من الخرائط والبيانات المنشورة.
- وصف لأعمال البناء المقترحة، بما في ذلك الأحمال والإجراءات بسبب ظروف الأرض، والمياه الجوفية، والأحمال الهيكلية، والظروف الزلزالية، وما إلى ذلك.
- وصف موجز لبرنامج الاختبارات الميدانية والمعملية، بما في ذلك التحقيقات المكتملة مسبقًا (الوصف التفصيلي الوارد في تقرير البيانات الجيوتقنية، الجزء ب).
- مخططات توضح مواقع جميع فتحات الاختبار ونقاط بيانات الاستكشاف الميداني الأخرى (حُفر الاختبار، وما إلى ذلك).
- وصف طبقات التربة والصخور التي تتم مواجهتها.
- تقييم منسوب المياه الجوفية وتقديم تصميم مستويات المياه الجوفية، في حال مواجهة مياه جوفية.
- الملامح الممثلة لتحت السطح من خلال الهياكل الرئيسية (أو على طول المحاذاة إذا كان مشروعًا خطيًا) تُظهر مستوى الأرض الحالي، والنهائي، وطبقات التربة والصخور، ومواقع الفتحات، ومنسوب المياه الجوفية المقاس وما إلى ذلك.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- تقييم نتائج الاختبارات الميدانية والمعملية والوثائق الداعمة الأخرى (بما في ذلك قيود البيانات).
- تقييم معايير التصميم الزلزالي.
- تقييم كيمياء التربة والمياه لتدابير حماية الأساس والمرافق المدفونة.
- اشتقاق خصائص التصميم لكل طبقة من التربة والصخور، بما في ذلك الجدولة والرسوم البيانية للبيانات.
- تقييم معايير التصميم الجيوتقني، بما في ذلك استخدام الارتباطات وإمكانية تطبيقها، وفقًا للأكواد والمعايير المعتمدة.
- توفير نموذج أساس للتصميم، بما في ذلك تبرير اعتماد قيم التصميم المعلنة وفقًا للأكواد والمعايير المعتمدة.
- الإشارة إلى الأكواد والمعايير المستخدمة.
- توصيات التصميم، بما في ذلك تقييم ملاءمة التصميم فيما يتعلق بالشكل المقترح للبناء، وتحسين التكلفة، والصيانة والرقابة المطلوبين. يجب تقديم توصيات التصميم للموضوعات التي تم تناولها في الجزء ج من هذا الدليل الإرشادي (حيثما ينطبق) - الأساسات (السطحية والعميقة)، والجدران الاستنادية، وتحسين التربة، والتسرب، وثبات المنحدرات، وأعمال الحفر، والحفر العميق وحفر الأنفاق. يحتوي الجزء "ج" على أوصاف تفصيلية للتوصيات التي سيتم تضمينها في تقرير التصميم الجيوتقني.
- حسابات التصميم الجيوتقني (إذا تم تحديد التضمين في العقد)، بما في ذلك النسخ الإلكترونية والورقية لملفات الإدخال والمخرجات من جداول البيانات والبرامج المعتمدة.
- تفاصيل عمل الرسومات ووضع المواصفات، بما في ذلك، عند الاقتضاء، العناصر التي سيتم فحصها، ومقترحات التحقق من صحة الموقع، ومعدل تكرار عمليات الفحص والاختبار وأنواعها، والأطراف المسؤولة، والحدود والمدد المقبولة.
- وصف متطلبات الرصد الجيوتقني أثناء التشييد، بما في ذلك تركيب الركائز واختبار الأحمال (عند الاقتضاء)، وأعمال الحفر، والرصد المستمر لمستوى المياه.

4.3 برامج الكمبيوتر وجداول البيانات

بالنسبة إلى برامج الكمبيوتر التي تحتوي على خوارزميات مدمجة لتنفيذ شروط إصدارات معينة من نماذج أو أكواد بناء المواد، يجري تحليل منهجيات كود البناء المختار وكود البناء المستخدم في البرنامج لضمان اتساق المنهجية. يجب التوفيق بين المنهجيات المعتمدة في البرنامج مع الكود (الأكواد) الجيوتقنية والخاصة بالبناء المختارة إما من خلال استخدام التعديل المناسب على معايير التصميم، أو طريقة التحليل، أو كليهما. تخضع جميع البرامج لاختبار التحقق من الصحة ويجب أن توافق عليها الجهة العامة.

عند استخدام جداول البيانات الداخلية للتحليل والتصميم، يجب أن تخضع للتحقق من خلال دعم الحسابات اليدوية و/أو البرامج المتاحة تجاريًا. يجب استخدام جداول البيانات المقدمة إلى الجهة العامة فقط للتصميم والتحليل بعد التحقق من الصحة والموافقة عليها من قبل الجهة العامة.

للحصول على التوصيات، راجع قائمة البرامج الموصى بها (000009-EPM-KE0-RG).

5.0الشروط الجيولوجية والجيوتقنية في المملكة العربية السعودية

5.1 البيئة الجيولوجية

تم تفصيل الخصائص الجيولوجية لشبه الجزيرة العربية من قبل باورز وآخرون (1966)، من بين أمور أخرى. تنقسم المملكة العربية السعودية إلى منطقتين جيولوجيتين رئيسيتين (باورز وآخرون، 1966؛ الرفاعي والغامدي، 1994):

- مجمع ما قبل العصر الكمبري من الصخور النارية والمتحولة (المعروف باسم الدرع العربي) والذي يحتل ما يقرب من ثلث شبه الجزيرة العربية في الغرب.
- مساحة واسعة من تضاريس منخفضة نسبيًا (تُعرف باسم الجرف العربي)، حيث توجد رواسب من الدرجة الثالثة من عصر أحدث تغطي الوحدات القديمة، في الثلثين الشرقيين.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

يمكن تقسيم جيولوجيا المملكة العربية السعودية إلى المناطق الجغرافية التالية كما لخصها الرفاعي والغامدي (1994):

- المنطقة الغربية جبلية في الغالب، مع مناطق ساحلية منخفضة على طول البحر الأحمر.
- المنطقة الجنوبية مغطاة برواسب رملية واسعة.
- تتكون المناطق المركزية من تضاريس مسطحة نسبيًا للهضبة الوسطى، مع ترسبات الطمي، والرمل، والحصى، وصخور الأساس من الحجر الجيري من أصل رباعي وثلاثي على طول قنوات التعرية والوديان بين الجروف.
- تشكل المناطق الشمالية حوض النفود الرسوبي، مع رواسب من العصر الرباعي إلى حد كبير من الأحمر إلى الوردي والرمادي مارلي إلى الحجر الرملي الجيري، والمارل الرملي مع الصخر الرملي الوردي، والرمال الطينية.
- تغطي المناطق الشرقية ترسبات التربة الحاملة للملوحة، والكثبان الرملية، والنتوءات الصخرية من الحجر الجيري والحجر الرملي الجيري.

5.2 المشاكل الجيوتقنية

تم توضيح المشاكل الجيوتقنية الأساسية في المملكة العربية السعودية في الرفاعي والغامدي (1994)، وضيف الله والشمراني (2012)، وستيفو (1992)، وكما هو مشار إليه في كود البناء السعودي (التربة، والأساسات والجدران الداعمة). يرد تلخيص هذه المشاكل أدناه.

- ستنضغط التربة القابلة للهبوط عند غمرها بالماء، ما ينتج عنه حالات هبوط في التربة دون وجود إجهاد إضافي مطبق، وبالتالي تقليل قدرة التحمل.
- التربة القابلة للتمدد والانكماش عبارة عن مواد طينية تتقلص وتنتفخ (تتمدد) مع التغيّرات في محتوى الرطوبة.
- تتميّز التكوينات الكارستية بخصائص المحلول، مع وجود ثقوب مجاري وتجاويف ناتجة عند سطح الأرض أو بالقرب منه، ما يشكل خطرًا على الأعمال الإنشائية والجيوتقنية.
- التربة الرخوة عبارة عن رواسب حديثة غير طبقية نتيجة هبوب الرياح مكونة من مادة بحجم الطمي في الغالب لها بنية رخوة وكثافة منخفضة، وقابلة للانضغاط بدرجة كبيرة.
- السبخة عبارة عن مادة غير متجانسة تحمل الملح، تتكون بشكل أساسي من الطين، والطمي، والرمل الناعم والمواد العضوية المتداخلة بشكل عشوائي. تتميز رواسب السبخة عمومًا بنسب فراغ عالية وكثافات جافة منخفضة، وقابلة للهبوط.
- عبارة عن بيئة مسببة للتآكل واحتمال هجوم الكبريتات بسبب السبخة بشكل أساسي، والتي غالبًا ما تكون عالية في الكبريتات والكلوريد الذائبة في الماء، مع احتمال هجوم الكبريتات على عناصر الأساس الخرسانية وتآكل المواد المعدنية الملامسة لهذه التربة.

5.3 التقييم الزلزالي

5.3.1 متطلبات تصميم الأساس الزلزالي

5.3.1.1 متطلبات عامة

تعتبر المملكة العربية السعودية دولة ذات نشاط زلزالي منخفض نسبيًا. ووفقًا لمنظمة الصحة العالمية، خريطة توزيع المخاطر الزلزالية في المملكة العربية السعودية، تم تصنيف معظم البلاد على أنها ذات مخاطر زلزالية منخفضة جدًا (ذروة التسارع الأرضي تبلغ≤ 0.02 غم) إلى منخفضة (0.02 <≤ ذروة التسارع الأرضي 0.08 غم). وتتوافق هنا ذروة التسارع الأرضي مع احتمال تجاوز 10% خلال 50 عامًا. تتمتع المناطق المحلية بقيم ذروة تسارع أرضي تصل إلى 0.2 غم، وتحديدًا غرب مدينة تبوك، شمال مدينة المدينة المنورة، ومحيط مدينة جدة، والمنطقة الساحلية بالقرب من مدينة الجبيل.

5.3.1.2 فئة التصميم الزلزالي

يصنف كود البناء السعودي (التصميم الإنشائي) الهيكل بناءً على فئة الإشغال وشدة الحركة الأرضية للتصميم في الموقع. وتتراوح فئات التصميم الزلزالي من أ إلى د ويتم تحديدها وفقًا لكود البناء السعودي (التصميم الإنشائي). لا تتطلب المباني ذات التصميم الزلزالي من الفئة أ أي إجراءات تصميم زلزالية خاصة. بينما تتضمن المباني ذات التصميم الزلزالي من الفئة (ج) أكثر متطلبات تصميم الأساس الزلزالي صرامة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

5.3.2 تصنيف الموقع الزلزالي

تتطلب قيم الحركة الأرضية الزلزالية لكود البناء السعودي (التصميم الإنشائي) تصنيف الموقع على أنه فئة موقع (أ)، أو (ب)، أو (ج)، أو (د)، أو (هـ) أو (و).

5.3.3 تقييم مخاطر الزلازل

وفقًا لمتطلبات القسمين 2.2.5، و2.2.6 من كود البناء السعودي 303 للهياكل الموجودة ضمن فئتي التصميم الزلزالي (ج) و(د) على التوالي، يجب إجراء تحقيق ويجب أن يتناول تقرير التصميم الجيوتقني مخاطر الزلازل المحتملة التالية:

- عدم استقرار المنحدر
- الإسالة
- الانتشار الجانبي
- الإزاحات العمودية
- تمزق السطح.

5.3.4 ضغط الأرض الجانبي الزلزالي

فيما يتعلق بالجدران الاستنادية المخصصة لفئتي التصميم الزلزالي (ج) و (د)، يجب حساب ضغط الأرض النشط الساكن والزلزالي معًا باستخدام الطريقة الموضحة في كود البناء السعودي. يُعرف نهج التصميم هذا بشكل شائع باسم طريقة منيب- عقبي (راجع سيد ووايت مان، 1970).

بشكل عام، يجب اتباع آخر كود للبناء السعودي.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

القسم ب. إرشادات الفحص الجيوتقني

يقدم الجزء (ب) دليلاً إرشاديًا لإجراء تحقيق جيوتقني للحصول على معلومات جيوتقنية في موقع جديد أو لتكملة المعلومات الجيوتقنية في موقع موجود. يجب على مهندس التخصص المعماري/الهندسي الرئيسي مراجعة جميع المعلومات الجيوتقنية الحالية للموقع، والتي يتم تضمينها عادةً في تقرير بيانات جيوتقنية، أو تقرير تصميم جيوتقني، أو كليهما، لتحديد ما إذا كان هناك أي تحقيق جيوتقني إضافي مطلوب للمشروع المخطط له.

6.0التحقيق عن طريق فتحات الاختبار

6.1 متطلبات الفتحات

وفقًا لكود البناء السعودي، فإن تحقيقات الفتحات غير مطلوبة في حال استيفاء جميع المعايير:

- ضغط الحمل الصافي على الأساس أقل من 50 كيلو باسكال.
- لا توجد أحمال ديناميكية أو اهتزازية على المبنى أو الهيكل.
- لا يشتبه في وجود تربة مشكوك فيها أو مسببة للمشاكل على مقربة من منطقة تأثير المبنى أو الهيكل.
- لا يشتبه في وجود تجاويف تحت منطقة تأثير المبنى أو الهيكل.

إذا لم يتم استيفاء أيٍّ من المعايير المذكورة أعلاه، يجب إجراء تحقيق الفتحات. واعتمادًا على توافر معلومات الفتحات التاريخية في منطقة التطوير المقترحة، وجودتها، قد لا تكون هناك حاجة إلى إجراء تحقيق فتحات جديد. يجب أن يتم ذلك من قبل مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي.

6.2 أنواع التحقيقات بشأن الفتحات

يعتمد نوع التحقيق بشأن الفتحات على تربة الموقع المتوقعة، بالإضافة إلى أهداف التحقيق. تم تحديد متطلبات فتحة التربة والصخور وأخذ العينات في كود البناء السعودي. يمكن العثور على أوصاف أكثر تفصيلاً لأنواع فتحات مختلفة في معايير الرابطة الأمريكية لمسؤولي الطرق السريعة والنقل، والإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (a2002) وسلاح المهندسين العسكريين الأمريكي (2001). في هذا القسم، يستخدم مصطلح "عمل الفتحات" لوصف تقنية التحقيق في الموقع ولا يقتصر على تعريف "فتحة الاختبار" الوارد في القسم 2.1.

تشمل أنواع التحقيقات بشأن الفتحات ما يلي. يتم توفير مزيد من التفاصيل بشأن المعدات في القسم 8.3 من هذه الوثيقة؛ ويرد وصف أخذ العينات المستخدمة مع المعدات في القسم 8.4 من هذه الوثيقة. تم وصف تقنيات التحقيق في الموقع بشكل كامل في القسم 9 من هذه الوثيقة.

6.2.1 عمليات مد الأنابيب بالضغط والحفر الأفقي

تسمح عمليات مد الأنابيب بالضغط والحفر الأفقي، التي يمكن إجراؤها إما باستخدام مثقاب الحفر المستمر أو غير المستمر، بجمع عينات التربة غير المستقرة للاختبار المعملي، ولكنها تعطي معلومات محدودة عن طبقات التربة. وهي تستخدم عادةً فوق منسوب المياه الجوفية (ولكن يمكن استخدامها أسفل منسوب المياه الجوفية في حالة الطين الصلب).

6.2.2 مثاقب الدفع

يتم إدخال مثقاب الدفع في التربة والسماح له بجمع عينات التربة غير المستقرة لإجراء الاختبار لاحقًا؛ كما أنه يعطي بعض المعلومات عن طبقات التربة، وهي ميزة على مد الأنابيب بالضغط والحفر الأفقي. ويمكن أن تشمل أنواع مثاقب الدفع محرك الإيقاع والاهتزاز، مع عينات غير مستقرة يتم جمعها باستخدام اختبار الاختراق القياسي (SPT) (بشكل رئيسي في الرمال) واختبار اختراق بيكر (بشكل أساسي في الحصى).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

6.2.3 حُفر الاختبار

يسمح حفر حُفر الاختبار بتحديد طبقات التربة في الأعماق الضحلة، بتكلفة منخفضة نسبيًا. ويمكن الحصول على عينات لإجراء الاختبار المعملي، بما في ذلك العينات الأكبر التي تحتوي على حصى وصخور، والتي لا يمكن الحصول عليها من خلال طرق حفر الفتحات. يتم إيقاف حفر حُفر الاختبار عادةً عند مواجهة الصخور و/أو منسوب المياه الجوفية. ويجب إعادة جوانب حُفرة الاختبار بشكل مناسب عندما يكون عمقها أكبر من 1.5 متر إذا كان الدخول مطلوبًا لأخذ العينات. يجب أن يكون حجم المعدات المستخدمة لحفر حُفرة الاختبار مناسبًا للحصول على العمق المطلوب.

6.2.4 اختبار الاختراق المخروطي

اختبار الاختراق المخروطي، عبارة عن اختبار في الموقع حيث يتم إدخال قضيب معدني مدبب مغطى بمجموعة مخروطية مُجهزة بشكل مستمر في التربة، ما يسمح بتفسير طبقات التربة والخصائص الهندسية دون أخذ العينات، بناءً على القراءات التي تم الحصول عليها لاحتكاك الجسم الخارجي، والمحمل الطرفي وضغط ماء الحفر على المجموعة المخروطية المجهزة. انظر القسم 9.2 لمعرفة أبعاد المجموعة المخروطية.

6.2.5 الثقوب غير المضطربة

تسمح عينات التربة غير المضطربة (أو السليمة)، والتي يتم الحصول عليها عادةً باستخدام أجهزة أخذ العينات بالدفع (مثل أنابيب شيلبي) أو أجهزة أخذ العينات الدوارة، بإجراء دراسة مفصلة للطبقات، وتحديد الخصائص مثل قوة القص، والدمج، والنفاذية والكثافة من الاختبارات المعملية. عادة تقتصر العينات غير المضطربة على التربة المتماسكة - وعادة ما تكون هناك حاجة لأخذ عينات التربة المتخصصة للحصول على عينات حبيبية. بعد أخذ العينات، يتم إغلاق الأنابيب (غالبًا بالشمع) قبل شحنها (بعناية) إلى المختبر. وغالبًا ما يتم الحصول على العينات غير المضطربة من خلال فتحات أجهزة ثقوب الغسيل الدوارة (انظر القسم 8.3.3).

6.2.6 عمل الثقوب في الصخور

عادةً ما يتم إجراء الحفر في الصخور من خلال الحفر الدوراني باستخدام براميل صخرية أساسية مزودة بأجزاء من الماس أو كربيد عند الحاجة إلى عيّنات من الصخور، أو باستخدام طرق طرقية لتثبيت الأجهزة وآبار المراقبة وما إلى ذلك. يمكن أن تكون ثقوب الصخور الأساسية عمودية أو مائلة، اعتمادًا على طبقات الصخور وخصائصها. يبلغ طول عينات الصخور الجوفية عادةً 1.5 مترًا، ويتم تخزينها في صناديق عينات الصخور الجوفية الموسومة لنقلها إلى معمل الاختبار.

6.3 تكرار وعمق ثقوب الحفر

يحدد كود البناء السعودي 303 الجدول 2.1 الحد الأدنى من متطلبات تحقيقات ثقوب الحفر للمباني (انظر الجدول 7.11-1). ترد أعماق ثقوب الحفر الدنيا الموصى بها في الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002 أ) لأعمال البنية التحتية للطرق (ملخصة في الجدول 7.11-2). يجب اختيار عمق ثقب الحفر بناءً على العمق أسفل القاعدة المخططة للأساس. يعتمد اختيار ثقوب الحفر على التربة المتوقعة بالموقع، وكذلك نوع التطوير المقترح. يجب أن تخترق ثقوب الحفر بشكل كامل جميع طبقات التربة المشكوك فيها أو الرخوة داخل منطقة تأثير تحميل المبنى.

الجدول 7.11-1: الحد الأدنى من متطلبات ثقوب الحفر للمباني (كود البناء السعودي)

عدد الطوابق	مساحة البناء ($م^2$)	عدد ثقوب الحفر	الحد الأدنى لعمق ثلثي ثقوب الحفر (م)	الحد الأدنى لعمق ثلث ثقوب الحفر (م)
2 أو أقل	600>	3	4	6
	5000-600	10-3	5	8
	5000<	2 أو أقل		

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

عدد الطوابق	مساحة البناء ($م^2$)	عدد ثقوب الحفر	الحد الأدنى لعمق ثلثي ثقوب الحفر (م)	الحد الأدنى لعمق ثلث ثقوب الحفر (م)
4-3	600>	3	8-6	12-9
	5000-600	10-3		
	5000<	2 أو أقل		
5 أو أعلى	2 أو أقل			

عند مواجهة الصخور خلال عمق تحقيق عام، فإن طول حفر الصخور النموذجي لا يقل عن 1.5 متر في الصخور المعنية، لضمان عدم حدوث رفض للمثقاب على صخر جلمود. إذا كان سيتم تأسيس الهياكل مباشرة على الصخور، فإن الحد الأدنى لطول عينة الصخور الجوفية الذي يبلغ 3 أمتار في الصخور المختصة يكون مناسبًا (FHWA 2002a).

يجب تحديد عدد وعمق ثقوب الحفر من قبل مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي ويخضع للمراجعة والقبول من قبل الجهة العامة.

يجب أن يكون عدد ثقوب الحفر وعمقها كافيين لتحديد البيئة الجيولوجية في موقع المشروع، وسيعتمدان على كل من ظروف التربة المتوقعة بالإضافة إلى مرحلة التحقيق التي يتم إجراؤها. لمعرفة المزيد عن تحقيقات التخطيط العامة، قد يكون التباعد الأوسع مناسبًا، بينما لأغراض التصميم التفصيلي، يجب استخدام تباعد ثقوب حفر أقرب.

الجدول 2-7.11: الحد الأدنى لأعماق ثقوب الحفر

مجال التحقيق	الحد الأدنى الموصى به لعمق الحفر (D_b)
أساسات الجسر - القواعد الخرسانية المنفصلة بطول $_f$ وعرض ب $_f$	• $B_f 2 = D_b$:$B_f 2 \le L_f$ تحت مستوى التحمل • $B_f 4 = D_b$:$B_f 5 \ge L_f$ تحت مستوى التحمل • D_b :$B_f 5 \le L_f \le B_f 2$ يحددها الاستكمال الخطي
أساسات الجسر - عمق الأساسات	• التربة: العمق $_b$ = 6 م بعد الركيزة أو طرف العمود المتوقع، أو ضعف أقصى بُعد لمجموعة الركائز، أيهما أعمق • التحمل على الصخرة: العمق $_b$ = 3 م من عينة الصخور الجوفية لضمان عدم انتهاء الحفر على صخرة جلمود • تمتد إلى الصخرة: العمق $_b$ = 3 م من عينة الصخور الجوفية، أو ضعف ثلاث مرات قطر المحور (للأعمدة المعزولة) أو ضعف أقصى بُعد لمجموعة العمود، أيهما أعمق، أقل من الارتفاع المتوقع لطرف الركيزة.
الجدران الساندة	بين 0.75 و 1.5 ضعف ارتفاع الجدار (تحت خط الأرض النهائي). إذا كان التقسيم الطبقي يشير إلى احتمال وجود رسوخ عميق أو مشاكل هبوط بالتربة، فامتد إلى الطبقة الصلبة.
الطرق	2 متر تحت مستوى الأرض الفرعي المقترح.
الشقوق	5 أمتار تحت الشق المتوقع عند خط الخندق. يجب زيادته في المواقع ذات عدم استقرار القاعدة، أو حيث تكون قاعدة الشق تحت مستوى المياه الجوفية.
السواتر الترابية	ضعف ارتفاع الجسر، إلا إذا واجهت طبقة صلبة فوق هذا العمق. إذا واجهت طبقات ناعمة، يتم مواصلة الحفر إلى الطبقة الصلبة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

مجال التحقيق	الحد الأدنى الموصى به لعمق الحفر (D_b)
العبارات (مجاري المياه السفلية)	استخدام معايير الجسور.

يتم توفير اقتراحات لتخطيط ثقوب الحفر وعددها في مخططات الطرق في الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002 أ).

6.3.1 إنشاء مواقع ثقوب الحفر والارتفاعات

يجب إنشاء مواقع الحفر والارتفاعات بواسطة مسّاح مؤهل. وفي حال عدم توفر مسّاح، يجب على المقاول الذي يقوم بإجراء التحقيق الجيوتقني تحت إشراف مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي تحديد موقع جميع ثقوب الحفر والاختبارات الميدانية الأخرى المتعلقة بميزات الموقع المعروفة، بدقة تنطبق على نطاق المشروع.

يجب أن تكون ارتفاعات الحفر إما معيارًا جيوديسيًا (BM) أو معيارًا مؤقتًا (TBM). وعادةً ما يتم الإبلاغ عن الارتفاعات إلى ± 0.1 متر (كحد أدنى). يجب الرجوع إلى ارتفاعات ثقب الحفر إلى المسند المناسب.

6.3.2 التربة المشكوك فيها

يقتضي تكرار عمليات الحفر الإضافية والإجراءات عند الاشتباه في وجود تربة مشكوك فيها أسفل التطوير المقترح.

- التربة الانتفاخية (التمددية) - ترد متطلبات أخذ العينات للتربة الانتفاخية (التمددّية) موضحة في كود البناء السعودي.
- التربة القابلة للانهيار - تم تحديد متطلبات أخذ العينات للتربة القابلة للانهيار في كود البناء السعودي.
- تربة السبخة - تم تحديد متطلبات أخذ العينات لتربة السبخة في كود البناء السعودي.

6.4 أخذ العينات

سيعتمد أخذ العينات أثناء تحقيق الحفر على نوع التحقيق بشأن الحفر الذي يتم إجراؤه، والمعلومات المطلوبة من العينات. ترد أنواع أدوات استخراج العينات الشائعة مدرجة في القسم 8.4.1 من هذه الوثيقة.

وستعتمد المسافات الفاصلة لأخذ العينات على نوع التربة وستختلف بحسب المشروع والمنطقة. تشمل المسافات الفاصلة الشائعة لاختبارات الاختراق القياسية باستخدام أسطوانات أخذ عينات من التربة ببريل مشطور (أو ملعقة مشقوقة) (وهو النوع الأكثر شيوعًا لأخذ العينات الجيوتقنية) ما يلي: أخذ عينات متواصلة لاختبار الاختراق القياسية فوق أول 5 متر، ثم لمسافات فاصلة من 1 متر إلى 20 مترًا، ثم المسافات من 1 متر إلى أسفل ثقب العينة (أو أعلى الصخر).

وفي التربة المتماسكة، إذا صادفتها، يجب استخلاص عينة سليمة واحدة على الأقل (مثل أنبوب شيلبي رقيق الجدران) من كل طبقة. وينبغي استبدال عينات أنبوب شيلبي مع عينات من اختبارات الاختراق المعيارية باستخدام مشطور برميل، أو على النحو المحدد في نطاق الأعمال. حسب الحاجة، سيتم استخلاص عينات في التربة السليمة الناعمة جدا إلى الناعمة باستخدام أدوات مكبس أخذ العينات رقيق الجدران مع أخذ عينات بصورة مستمرة. ويُرجح أن تظهر الحاجة إلى أدوات أخذ العينة الدوارة (على سبيل المثال، الجرة أو دنيسون) في التربة المتصلبة والتربة الطينية الصلبة جدًا.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

وحيثما تؤخذ العينات أثناء التحقيقات بشأن الحفر، يخصص لكل عينة منها رقم مميز للمساعدة في التعرف عليها. وينبغي توخي الحذر للتقليل من قلقلة العينات السليمة والحفاظ على نسبة الرطوبة في جميع عينات التربة، باستثناء العينات السائبة في معظم الحالات. ترد الممارسات الموحدة لمناولة العينات الميدانية في معايير الرابطة الأمريكية لمسؤولي الطرق السريعة والنقل.

6.5 سجلات الحفر

يجب إدراج المعلومات التالية بجميع السجلات الميدانية، عند الاقتضاء، المستخدمة أثناء التحقيق بشأن الحفر، وبجميع سجلات الحفر النهائية بعد استعراضها والموافقة عليها من جانب الجهة العامة.

- ثقب الحفر أو رقم حفرة الاختبار أو التخصيص، والارتفاع الأرضي من أعلى ثقب الحفر أو حفرة الاختبار.
- اسم المُنقِب واسم الممثل الميداني.
- جهة صُنع، وحجم وتسمية نموذج الجهة المُصنعة لمعدات الحفر، وأخذ العينات، ومعدات الحفر في حفرة الاختبار.
- نوع عمليات الحفر وأخذ العينات حسب العمق.
- نصف قطر ثقب الحفر
- تواريخ وتوقيتات بدء أعمال الحفر وأخذ العينات، وعمليات حفرة الاختبار واكتمالها.
- الوقت المطلوب للقيام بحفر كل عينة صخور جوفية.
- عمل الحفر، وسرعة الدوران، والضغط الهيدروليكي، وضغط الماء، وتأمين الأدوات ضد السقوط، وأي تجربة أخرى يمكن أن تشير إلى ظروف الطبقة التي تمت مصادفتها أثناء حفر الصخور الجوفية.
- الأعماق التي تم فيها استخلاص العينات أو حُفر الصخور الجوفية، أو جرت محاولات لأخذ العينات أو عينة الصخور الجوفية، بما في ذلك العمق العلوي والسفلي لكل عملية.
- التصنيف أو الوصف حسب أعماق المواد التي تم أخذ عينات منها، أو حفرها أو اختراقها باستخدام نظام تصنيف التربة الموحد (ASTM D 2487)، بما في ذلك وصف ظروف الرطوبة، والتماسك وغيرها من الخصائص المناسبة الموضحة في وثيقة ASTM D 2488. يجب إجراء هذا التصنيف أو الوصف فور استرداد العينات أو عينات الصخور الجوفية.
- التصنيف والوصف حسب أعماق المواد الصخرية التي تم أخذ عينات منها أو حفرها، بما في ذلك نوع الصخور، والتكوين، والملمس، ووجود واتجاه الطبقة الصخرية، وتتابع الطبقات، والكسور، ووجود الأكواب أو الفجوات الأخرى، والاستخلاص وتصنيف جودة الصخور لكل مسافة فاصلة محفورة.
- إشارة إلى مقاومة الاختراق مثل ضربات اختبار الاختراق القياسي المعطاة في ضربات لكل زيادة (عادة 0.25 م أو 0.33 م) لدفع أدوات أخذ عينات مشطور البرميل والغلاف. يجب الإبلاغ عن نوع المطرقة (على سبيل المثال، دائرية، أو أمان، أو آلية) وكفاءة المطرقة، حيثما كان ذلك متاحًا، لتمكين التصحيح إلى N_{60} (تم تصحيح عدد الضربات فيما يتعلق بكفاءة المطرقة بنسبة 60٪) المستخدمة من أجل التصميم.
- وزن مطرقة الدفع.
- الطول/النسبة المئوية للعيّنة أو عينة حفر الصخور الجوفية المستخلصة في كل شوط.
- العمق الذي يتم عنده مواجهة المياه الجوفية مبدئيًا وعند استقرارها.
- الأعماق التي يتم عندها فقدان مياه الحفر واستعادتها، وكمياتها.
- الأعماق التي يتغيّر عندها لون ماء الحفر.
- نوع ووزن سائل الحفر.
- عمق قاع الحفرة.
- الضغوط المستخدمة في اختبار الضغط.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

7.0تقييم المياه الجوفية

7.1 متطلبات عامة

تشير المياه الجوفية إلى المياه الموجودة تحت سطح الأرض في مسام التربة وفي كسور التكوينات الصخرية. تتمتع المياه الجوفية بتأثير كبير على جميع المشروعات الجيوتقنية. وعلى العكس من ذلك، غالبًا ما يكون لمشروعات التنمية تأثير على المياه الجوفية. يمكن أن تتسبب المياه الجوفية أو تساهم في حدوث عطل بسبب التشبع الزائد وتقليل قوة التربة بسبب ضغوط التسرب أو قوى الرفع. وفي بعض المناطق، قد تحتوي المياه الجوفية على تركيزات مرتفعة من الملوثات أو قد تحتوي على مكونات بتركيزات كافية لجعلها عدوانية وتسبب أضرارًا لمواد التشييد مثل الخرسانة والفولاذ. تؤثر المياه الجوفية على تصميم عناصر المشروع، وأدائها وإمكانية التشييد بها. يتضمن تقييم ظروف المياه الجوفية تحديد مستويات المياه الجوفية والضغوط، وقدرة التوصيل الهيدروليكي وجودة المياه من حيث التركيب الكيميائي.

يجب استشارة المهندسين البيئيين/الجيوتقنيين ذوي الخبرة و/أو علماء الجيولوجيا المائية عند التخطيط لدراسة خصائص المياه الجوفية. ويجب الرجوع إلى الإرشادات والمعايير المرجعية (على سبيل المثال، 4750ASTM D، 5092ASTM D) خلال مراحل التخطيط لدراسات توصيف المياه الجوفية. كما يتم توفير مراجعات ومناقشات شاملة حول المياه الجوفية والآبار في العديد من الأعمال المرجعية بما في ذلك Driscoll (1986) وUFC (2004) و الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (a2002) وHarr (1962).

يعد وصف ظروف المياه الجوفية عنصرًا مهمًا في التحقيق الجيوتقني للمشروع. يجب أن يحدد التحقيق الجيوتقني مستويات المياه الجوفية ومدى التقلبات الموسمية. إذا كانت الجيولوجيا أو نظام المياه الجوفية معقدًا، فإنه الإدخالات المهمة من المهندس الجيولوجي و/أو الجيولوجي المائي مطلوبة. سيتضمن التوصيف تحديد ما إذا كان منسوب المياه الجوفية يمثل منسوب المياه الجوفية بالمنطقة/الإقليم أو ما إذا كان منسوب مياه جوفية محليًا جاثمًا ناتجًا عن الظروف المحلية - وعادة لا يتم إعادة تغذية مناسيب المياه الجاثمة عند خفضها.

7.2 تقييم ظروف المياه الجوفية

يمكن الحصول على معلومات تفصيلية بشأن ملاحظات المياه الجوفية من معايير 4750ASTM D و5092ASTM D. ويجب أن يوفر النطاق الجيوتقني للأعمال متطلبات قياس المياه الجوفية ومراقبتها للاستخدامات المختلفة، بما في ذلك الحد الأدنى من المتطلبات ومعدل تكرار المراقبة.

يجب أن يقوم النطاق الجيوتقني للأعمال بتقييم أنواع التحقيق بشأن المياه الجوفية المطلوبة - تلك المستخدمة لتحديد مستويات المياه الجوفية والضغوط، وتلك المستخدمة لتحديد التوصيل الهيدروليكي (نفاذية) المواد الجوفية. ويقتضي تحديد إمكانية التوصيل الهيدروليكي للتربة أو طبقات الصخور فيما يتعلق بدراسات التسرب (راجع القسم 16) للتسرب عبر الجسور، وإنتاجية الآبار، وتقييم شبكة الأنابيب، والتحكم في المياه الجوفية، وتصميم المساند المؤقت، وتقييم قابلية التربة للتميع.

يمكن قياس مستويات المياه الجوفية والضغوط في الآبار الموجودة، وفي الحفر المفتوحة، وفي آبار المراقبة (الملاحظة) ومقاييس الضغط المثبّتة خصيصًا. يتم تحديد إمكانية التوصيل الهيدروليكي من خلال أنواع مختلفة من اختبارات الرشح، والضغط والضخ. وفيما يلي الوسائل شائعة الاستخدام لقياس المياه الجوفية.

7.3 قياس المياه الجوفية - مستويات المياه (الضغوط)

7.3.1 الآبار الموجودة

إذا كانت سجلات الآبار (بما في ذلك السجلات) متوفرة على مقربة من المشروع، فإنه يجب دمجها في خطة دراسة المياه الجوفية للمشروع. وفي حالة توفر هذه المعلومات، يجب تنسيق الحصول عليها مع مالك البئر.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

7.3.2 ثقوب الحفر المفتوحة

يجب قياس منسوب المياه أثناء الحفر وبعد الانتهاء من الحفر (إذا لم ينهار البئر). يجب التعامل مع ملاحظات المياه الجوفية التي يتم إجراؤها في ثقوب الحفر المفتوحة بحذر نظرًا لأن طول الفترة الزمنية اللازمة لاستقرار منسوب المياه في ثقوب الحفر عند مستوى المياه الجوفية يمثل دالة لإمكانية التوصيل الهيدروليكي لتربة الموقع.

7.3.3 آبار المراقبة

يتم إنشاء هذه الآبار لغرض الدراسات طويلة المدى لمستويات المياه الجوفية. وتتوفر تفاصيل إجراءات الإنشاء في المراجع المدرجة في القسم 7.1.

7.3.4 مقاييس الضغط

تشبه أجهزة قياس الضغط آبار المراقبة فيما عدا أن الأولى بشكل عام تقيس ضغط المياه بدلاً من مستويات المياه. ملاحظة: تعد أجهزة قياس حس الضغط لأنبوب رأسي مماثلة في الأداء لآبار المراقبة وإن كان قطرها أصغر. وتشمل الأنواع المتاحة من أجهزة قياس حس الضغط الهوائي، والأسلاك الاهتزازية، وأجهزة قياس حس الضغط بسلك المقاومة الكهربائية. يعتبر النظر في تأثيرات التأخر الزمني مهمًا بشكل خاص في اختيار النوع المناسب من أجهزة قياس الضغط لمشروع معين. لمعرفة مزيد من التفاصيل حول اختيار وتركيب وأجهزة قياس حس الضغط، يرجى الرجوع إلى دنكليف (1993).

7.4 قياس المياه الجوفية - إمكانية التوصيل الهيدروليكي

يمكن تقدير إمكانية التوصيل الهيدروليكي في الموقع باستخدام الطرق التالية:

- طريقة منسوب المياه المتساقطة - للتربة منخفضة النفاذية
- طريقة ارتفاع منسوب المياه - للتربة منخفضة النفاذية
- طريقة منسوب المياه الثابت - بشكل أساسي للتربة عالية النفاذية
- اختبارات باكر - في الغالب لتحديد إمكانية التوصيل الهيدروليكي في الموقع في صخر الأديم
- اختبار طبقة المياه الجوفية (الضخ) - يختبر إمكانية التوصيل الهيدروليكي لمنطقة أكبر - انظر أيضًا القسم 9.8.

لمعرفة الاختيار وإجراءات التطبيق المحددة لهذه الطرق، ارجع إلى واحد أو أكثر من المراجع المدرجة في القسم 7.1.

8.0 المعدات الجيوتقنية

8.1 المعدات الميدانية العامة

ستكون المعدات الميدانية العامة مطلوبة لإكمال التحقيق الميداني بنجاح، ويجب أن تتضمن نماذج وأدوات التسجيل، ومعلومات الموقع، وأدلة الموقع المناسبة والتصاريح. يتم توفير قائمة بالمستلزمات الميدانية العامة في الجدول 2.4 من الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002 أ).

وتصف الأقسام التالية معدات الوقاية الشخصية، ومعدات الحفر ومعدات أخذ العينات. تم وصف معدات الاختبار الميدانية في الموقع في القسم 9، وتم وصف معدات الاختبار الجيوفيزيائية في القسم 10، وتمت الإشارة إلى معدات الاختبار المعملية في القسم 11، كما تم وصف معدات التحقيق البحرية في القسم 12.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

8.2 معدات الوقاية الشخصية

يجب أن تشمل التحقيقات جميع معدات الوقاية الشخصية اللازمة لإتمام العمل بأمان. ويتضمن ذلك الوثائق المكتوبة، مثل خطة الصحة والسلامة المكتملة بشكل صحيح والمخصصة للوظيفة، بالإضافة إلى المعدات الميدانية، مثل القبعات الصلبة، وأحذية الأمان، والملابس العاكسة، وسدادات الأذن ونظارات الأمان. يجب أن تتوافق جميع معدات السلامة مع متطلبات هيئة الصحة والسلامة المناسبة.

8.3 معدات وطرق الحفر

تُستخدم معدات الحفر الجيوتقنية لإجراء عمليات الحفر والحصول على عينات من التربة أو الصخور الأساسية، وتختلف على نطاق واسع اعتمادًا على أهداف التحقيق. تم توفير ملخص لمعدات الحفر الجيوتقنية الشائعة (من الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ)، بالإضافة إلى أي معايير قابلة للتطبيق، أدناه.

8.3.1 مثقاب الدوران المستمر ذو الساق الصلب (ASTM D 1452)

تعمل المثاقب ذات الساق الصلب بشكل مشابه للبرغي، حيث تجلب التربة إلى الجزء العلوي من الحفرة كلما تقدمت. وعلى الرغم من توفر أحجام مختلفة، فإن المثقاب الذي يبلغ قطره 100 مم يعتبر الأكثر شيوعًا. عادة يتم توصيل مثاقب الساق الصلب بجهاز الحفر بواسطة الدبابيس الخابورية.

8.3.2 مثقاب الدوران المستمر ذو الساق المجوف (ASTM D 6151)

تتشابه مثاقب الساق المجوف مع مثاقب الساق الصلب، ولكنها تأتي عادةً بأحجام أكبر. وهي تختلف في المقام الأول في أن مثاقب الساق المجوف ذات نواة مجوفة، والتي يتم توصيلها عادةً بقابس مركزي أثناء عمل المثقاب. وتتمثل الميزة الرئيسية لمثقاب الساق المجوف في أنه يمكن إجراء أخذ العينات من خلال المثقاب دون الحاجة إلى سحب المثقاب. وتتم إزالة القابس المركزي عند أخذ العينات.

8.3.3 مثقاب الغسيل الدوار (ASTM D 5783)

يستخدم مثقاب الغسيل الدوار إما غلاف أو سائل حفر لدعم جوانب ثقب الحفر. ويعد سائل الحفر مزيجًا أكثر شيوعًا من البنتونايت والماء الذي يتم تدويره عن طريق ضخه إلى أسفل فتحة الحفر من خلال قضبان الحفر المجوفة، ثم يتم تفريغه من خلال لقمة الحفر، وتتم إعادته عبر الحلقة الواقعة بين قضبان الحفر وفتحة الحفر. تتراوح أحجام الغلاف عادةً من 60 مم إلى 130 مم، وغالبًا ما يتم اختيارها بناءً على قطر جهاز أخذ العينات الذي يجب تطويره من خلال الغلاف. تتكون لقم الثقب عادة إما من لقم سحب أو لقم أسطوانية. وتتمثل إحدى مزايا طريقة الحفر هذه في القدرة على التمييز بين فواصل الطبقات بناءً على أداء المعدات (على سبيل المثال، "الخشخشة" في الحصى) ومن القطوع في سائل الحفر الدائري؛ بينما يتمثل العيب الرئيسي في الحاجة إلى إمدادات مياه كافية.

8.3.4 مثاقب الدلو (ASTM D 6907)

تُستخدم مثاقب الدلو للحصول على كميات أكبر من التربة، وتتكون من دلو (قطره النموذجي 600 مم - 1200 مم، وطوله النموذجي 600 مم - 900 مم) يتم دفعه من خلال التربة أو الصخور اللينة/المجوية مع أسنان قطع مثبتة على القاع. تسمح الفتحات الموجودة في قاعدة الدلو بجمع العينات.

8.3.5 المثاقب/الحفارات اليدوية (ASTM D 1452)

تُستخدم المثاقب اليدوية عادةً للتحقيق الضحل، مع توفر عدة أنواع، مع وجود مثقب البرميل من النوع اللاحق للفتحة المعروف بأنه الأكثر شيوعًا. كما تتوفر المثاقب الكهربائية اليدوية. قد يتعين استخدام المثاقب اليدوية عندما يتعذر الوصول بالمركبات.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

8.3.6 الحفارات الميكانيكية

تُستخدم الحفارات الميكانيكية، مثل الجرافات، والحفارات البلدوزر بشكل شائع لحفر حفر الاختبار. وسيعتمد حجمها على نوع التربة، والعمق محل الاهتمام، وأي قيود على الموقع.

8.3.7 حفر عينة الصخور الجوفية (ASTM D 2113)

عندما تكون هناك حاجة إلى عينات صخرية سليمة، يتم عادة استخدام معدات حفر عينات الصخور الجوفية. ويتم توفير ملخص لمعدات وإجراءات حفر الصخور في معيار الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002أ). عادةً تكون أسطوانات حفر الصخور الجوفية عبارة عن أنبوب أحادي، أو مزدوج، أو ثلاثي، ويعد الأنبوب المزدوج الأكثر شيوعًا. سائل الحفر هو الماء.

عادة يتم جلب عينات الصخور الجوفية إلى السطح باستخدام إما معدات تقليدية أو سلكية؛ وتتطلب المعدات التقليدية إحضار السلسلة الكاملة من القضبان وأسطوانات عينات الصخور الجوفية إلى السطح بعد كل شوط لاسترجاع عينات الصخور الجوفية، بينما تسمح معدات الكابلات السلكية بإحضار عينة الصخور الجوفية الداخلية (على أسطوانات ثنائية وثلاثية العينات اللبية) إلى السطح بشكل منفصل.

تأتي أسطوانات العينات اللبية ومعدات أخذ عينات الصخور الأخرى في مجموعة متنوعة من الأحجام، والتي يُشار إليها بالحروف. يعد حجم العينة اللبية NX (قطره 54 مم) الحجم الأكثر شيوعًا لأسطوانة العينات اللبية، على الرغم من استخدام أحجام أخرى أيضًا، وقد يكون مناسبًا اعتمادًا على نوع الصخور التي يتم مصادفتها. يتم تثبيت لقم الحفر بطرف أسطوانة العينات اللبية، وتم إدراج الأنواع في القسم 8.4.2.

8.3.8 الحفر لغير أغراض العينات اللبية (التدميري)

عادةً يتم استخدام الحفر لغير العينات اللبية، المعروف أيضًا باسم الحفر التدميري، في المواقف التي لا يكون فيها عينات لب الصخور الجوفية مطلوبة. يمكن أن تشمل المعدات المستخدمة في مثل هذا التحقيق:

- مثاقب مسار الهواء
- مثاقب قاع البئر الطرقية
- المثاقب ذات الرؤوس المخروطية الثلاثة (اللقمة الدوارة)
- مثقاب لقمة السحب الدوارة
- لقم الرؤوس الكربيدية.

8.4 معدات أخذ العينات

تعتمد معدات أخذ العينات على نوع التحقيق الذي يتم إجراؤه.

8.4.1 أخذ عينات التربة

طرق أخذ عينات التربة الشائعة مذكورة أدناه:

- البرميل المشقوق (الملعقة مشقوقة) (ASTM D 1586) - انظر أيضًا القسم 8.1.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- أنبوب شيلبي رقيق الجدران (ASTM D 1587) - يبلغ قطره عادةً حوالي 75 مم، ويعد الأكثر شيوعًا لأخذ عينات من الطين متوسط الصلابة إلى الطين شديد الصلابة.
- أخذ العينات بالدفع المباشر (ASTM D 6282) - يتم دفع أنبوب أخذ العينات إلى التربة دون حفر دوار - يفضل لتوصيف الموقع البيئي.
- المكبس (ASTM D 6519) - تغيير أنبوب شيلبي - يتم خفض الأنبوب إلى أسفل فتحة الحفر بمكبس فولاذي متدفق مع قاع الأنبوب. يتم تثبيت المكبس في مكانه أثناء دفع الأنبوب إلى التربة.
- القاذف - مصمم لأخذ عينات من التربة السليمة نسبيًا التي يصعب أخذ عينات منها باستخدام أنبوب شيلبي العادي. تعتبر العملية أقرب إلى الحفر لاستخراج العينات اللبية، ولكن باستخدام أنبوب شيلبي كأسطوانة العينات الداخلية.
- دينيسون (الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ) - يشبه إلى حد ما جهاز أخذ عينات القاذف ولكنه أكثر تعقيدًا.
- كاليفورنيا المعدل (الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ).
- المثقاب المستمر (الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ).
- السائبة (الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ).
- الكتلة (الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ).

8.4.2 أخذ عينات من الصخور

عادة يتم أخذ عينات الصخور الجوفية من خلال استخدام لقم حفر عينات الصخور الجوفية متصلة بأسطوانات العينات اللبية. تشمل أنواع لقم الحفر (حسب الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002 أ) ما يلي:

- الماس (الأكثر استخدامًا)
- الكربيد
- سن المنشار.

9.0 الاختبار في الموقع

9.1 اختبار الاختراق القياسي

يعتبر اختبار الاختراق القياسي أو (ASTM D 1586) SPT الاختبار الأكثر شيوعًا في الموقع. يسمح الاختبار بالحصول على عينات من التربة المضطربة لإجراء مزيد من الاختبارات، وقد تم إنشاء مجموعة متنوعة من الارتباطات بين مقاومة اختراق الاختبار (القيمة N) وخصائص هندسية مختلفة (انظر أدناه). يتم إجراء الاختبار عن طريق ربط أداة أخذ العينات ذي البرميل المشقوق، بقطر خارجي حوالي 50 مم وطول نموذجي حوالي 500 مم، بأسفل سلسلة الحفر، وطرقه في التربة لمسافة 450 مم بمطرقة 0.62 كيلو نيوتن. تمثل القيمة N عدد ضربات المطرقة اللازمة لدفع أداة أخذ العينات لمسافة 300 مم، ويبدأ العد بعد أول 150 مم، أي، من 150 إلى 450 مم اختراق.

عادةً يتم تحديد اختبار الاختراق القياسي في التربة الحبيبية (على الرغم من وجود ارتباطات للطين) ويمكن تطويرها في الصخور شديدة التجوية. يعتبر الاختبار مفيدًا للتحليل الأولي للموقع (باولز ،1996) ويمكن أن يوجه اختيار العمق للحصول على عينات غير مضطربة.

يرتبط اختبار الاختراق القياسي جيدًا بعدد من الخصائص الهندسية ومعايير الأداء، بما في ذلك مقاومة الانضغاط غير المحصورة (انظر ميتشل وآخرون، 1978)، والقدرة على التحمل (انظر مايرهوف، 1956)، والتسوية (انظر ترزاغي وبيك، 1967)، وقابلية التأثر بالتسييل (انظر سيد، 1979).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

يمكن أن يكون تكرار اختبار الاختراق القياسي موضع تساؤل، ويجب تحليل النتائج على أساس نوعي (شميرتمان، 1979، وسكيمتون، 1986). ويمكن أن تؤثر إجراءات أخذ العينات العديدة على نتائج اختبار الاختراق القياسي، وتم تلخيصها في سكيمتون (1986) وديكورت (1989). يجب الإبلاغ عن قيم N المصححة واستخدامها في التصميم والتحليل اللاحقين لمراعاة عوامل مثل إجهاد الحمل الزائد، وطول قضيب الحفر، ووجود البطانة، وقطر ثقب الحفر، وكفاءة طاقة المطرقة. يتم أخذ كفاءة المطرقة التي يتم تشغيلها يدويًا (على سبيل المثال، حبل وغطاء رأس) بنسبة 60٪ ويتم تحديد قيمة N التي تم الحصول عليها باستخدام هذه المطرقة N_{60}. تم تصحيح قيم N التي تم الحصول عليها باستخدام مطارق ذات كفاءات مختلفة (على سبيل المثال، المطارق الآلية بكفاءات في نطاق 80٪ - 90٪) لتوفير مكافئ N_{60}.

9.2 اختبار الاختراق المخروطي

يتيح اختبار الاختراق المخروطي (ASTM D 3441CPT) و ASTM D 5778) بالتسجيل المستمر لخصائص التربة والطبقات. وتتكون أجهزة الاختراق المخروطية عادةً من قضيب فولاذي مع مجموعة مخروطية بجسم قطره 36 مم (مساحة إسقاط تبلغ 10 سم^2)، وزاوية قمة رأس تبلغ 60 درجة، وغطاء احتكاك 150 م^2 . تتوفر أيضًا مجموعة مخروطية بجسم قطره 44 مم (مساحة عرض 15 سم^2) وغطاء يبلغ 200 سم^2.
يتم دفع القضيب عادةً بمعدل 20 مم/ثانية.

يمكن استخدام تنميط اختبار الاختراق المخروطي لتحديد نوع التربة (انظر دوغلاس وأولسن، 1981؛ لون وآخرون، 1997)، وقوة القص غير المصفاة للطين (انظر جاميولكوفسكي وآخرون،1985؛ شميرتمان،1970)، والكثافة النسبية من الرمال (انظر دورغونوغلو وميتشل،1975؛ ميتشل وآخرون،1978 ؛ شميرتمان، 1978). يجب إجراء اختبار الاختراق المخروطي فقط في مواقع ذات ظروف أرضية مناسبة – - لا يمكن إجراؤها عادةً في رواسب حبيبية كثيفة إلى كثيفة جدًا أو رواسب صلبة متماسكة. يمكن استخدام أجهزة قياس الاختراق المخروطية التي تحتوي على عنصر بيزوكون لقياس ضغط المياه المسطح، والجيوفونات لقياس بيانات الموجة الزلزالية. انظر أيضًا القسم 6.2.4.

9.3 مقياس الضغط

يتكون مقياس الضغط من مسبار أسطواني يتم توسيعه شعاعيًا في التربة المحيطة لتقديم تقدير لعلاقة إجهاد التربة. ويمكن استخدام أجهزة قياس الضغط لاختبار أنواع التربة غير المناسبة لاختبارات نوع الدفع (على سبيل المثال، اختبار الاختراق المخروطي، ريشة الحقل)، مثل الطين الصلب، والرمال شديدة الكثافة والحصى، والصخور المجوَّفة. هناك أربعة أنواع شائعة من أجهزة قياس الضغط:

- مقياس الضغط للحفر السابقة (مينارد) (MPMT)
- مقياس ضغط الحفر الذاتي (SBP)
- مقياس ضغط الدفع إلى الداخل (PIP)
- مقياس ضغط الإزاحة الكامل (FDP).

يتمثل اختبار مقياس الضغط الأكثر شيوعًا في اختبار مينارد (Menard)، والذي تم وصفه في ASTM D 4719 وفي باجولين وآخرون. (1978). يمكن الحصول على مزيد من التفاصيل حول أنواع أجهزة قياس الضغط والمعايرة من بريود (1989) وكلارك (1995).

9.4 ريشة المجال

يستخدم اختبار قص ريشة المجال (ASTM D 2573) لقياس القوة في الموقع للتربة الطينية، وعند الاقتضاء، يجب تحديدها في نطاق التحقيق الجيوتقني للأعمال. على الرغم من توفر مجموعة متنوعة من أحجام الريشة، إلا أن أكثرها شيوعًا يتكون من شفرة قطرها 65 مم، وارتفاعها 130 مم، وسمك الشفرة 2 مم. ويمكن حساب قوة القص القصوى للطين من معيار ASTM D 2573.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

يجب تصحيح اختبار قص ريشة المجال لحساب مؤشر اللدونة (PI) للطين (انظر بجيروم،1972 و1973) ولنسبة الدمج الزائدة (OCR) (انظر آس وآخرون،1986). يقدم ليول وآخرون إرشادات حول استخدام ريش المجال في الطين الناعم أو الحسّاس. (1990) وليول وآخرون (2001). يمكن أيضًا استخدام اختبارات قص ريشة المجال لتقدير الطمي المتماسك لرواسب الطين (انظر ماين وميتشل، 1988).

9.5 مقياس تمدد اللوحة المستوية

يتكون مقياس تمدد اللوحة المستوية (6635ASTM D) من شفرة مدببة ذات طرف إسفين 18 درجة، يتم دفعها عموديًا في التربة على مسافات على عمق 200 مم أو 300 مم. ويبلغ المعدل النموذجي 20 مم/ثانية، على غرار اختبار الاختراق المخروطي. يتم أخذ الضغوط من غشاء فولاذي مرن بقطر 60 مم يقع على جانب واحد من الشفرة (الأبعاد النموذجية بطول = 240 مم، عرض = 95 مم ، سمك = 15 مم).

يمكن الحصول على مزيد من المعلومات حول مقياس تمدد اللوحة المستوية من جيمولوكسي وآخرين (1985) وروبرتسون (1986) وشميرتمان (1986) وميتشل (1988) ولون وآخرين. (1989).

9.6 اختبار القص المباشر

يمكن إجراء اختبارات القص المباشر في الموقع حيث تكون بيانات مقاومة القص المتاحة موضع شك، أو في حالة وجود طبقات متواصلة رفيعة وناعمة داخل مادة أقوى نسبيًا (سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي، 2001). يتم إجراء هذه الاختبارات عادةً على الصخور (على عكس التربة).

ويمكن الحصول على مزيد من المعلومات بشأن اختبار القص المباشر في الموقع من زيجلر (1972) ونيكولسون (1983) وسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (1993).

9.7 اختبار تحميل اللوحة

يتم استخدام اختبار تحميل اللوحة للمساعدة في تحديد قدرة التحمل للأساسات الصغيرة، أو للحصول على معامل تفاعل الطبقة السفلية للتربة أسفل الأساس مباشرة. يتكون الاختبار من قياس الحمل المطبق واختراق لوحة مدفوعة في التربة أو الكتلة الصخرية؛ عادة، يتم تطبيق سلسلة من الأحمال المستمرة ذات الحجم المتزايد. يمكن إجراء الاختبار إما مصفى أو غير مصفى في حالة التربة المتماسكة.

عادةً يكون اختبار حمل اللوحة صالحًا فقط لعمق ومكان الاختبار المحدد؛ وللحصول على نتائج تمثيلية لمساحة أكبر أو طبقة تربة كاملة، يجب إجراء الاختبار في مواقع متعددة أو على أعماق متعددة. يتمثل الاختلاف في اختبار تحميل اللوحة في اختبار لوحة اللولبة، والذي يتكون من مثقب ذي درجة مسطحة يتم تثبيته لولبيًا في التربة بالعمق المطلوب. يتوفر مزيد من المعلومات حول اختبار الحمل اللولبي في جانبو وسينسيت (1973).

9.8 توصيف طبقة المياه الجوفية

طريقة اختبار طبقات المياه الجوفية (4043ASTM D) عبارة عن تجربة ميدانية محكومة تستخدم لتحديد الخصائص الهيدروليكية التقريبية للمواد الحاملة للماء. تعد الخصائص الهيدروليكية التي يمكن تحديدها خاصة بطريقة الاختبار المختارة، وتعتمد على أدوات الاختبار الميداني، ومعرفة نظام طبقات المياه الجوفية في الموقع، وتوافق الظروف الهيدروجيولوجية في الموقع مع افتراضات طريقة الاختبار. تمثل إمكانية التوصيل الهيدروليكي ومعامل التخزين لطبقة المياه الجوفية الخصائص الأساسية التي تحددها معظم طرق الاختبار. يجب اختيار طريقة الاختبار المناسبة بناءً على الظروف الجيولوجية للموقع. راجع القسمين 7.3 و 7.4 للحصول على معلومات حول تصميم وتركيب الآبار.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

9.9 الاختبارات الأخرى في الموقع

تشمل الاختبارات الموضعية الأقل شيوعًا ما يلي:

- اختبار اختراق بيكر (BPT)
- اختبار الاختراق المخروطي الديناميكي (DCPT)
- لوحة تحمل/الرفع
- القص المباشر لثقب الحفر
- رفع ثقب الحفر.

يمكن الحصول على مزيد من المعلومات حول هذه الاختبارات من سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (2001) والإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (a2002).

10.0 الاختبار الجيوفيزيائي

10.1 متطلبات عامة

يجب تحديد الاختبارات الجيوفيزيائية عند الضرورة لتحديد نوع، وطبيعة، وخصائص المواد الجوفية؛ وتحديد الخصائص الهندسية في الموقع؛ و/أو الكشف عن الميزات الطبيعية أو الثقافية المخفية. يجب أن تكون الاختبارات الجيوفيزيائية مكملة أو تساعد في تخطيط، وتنفيذ وتفسير عمليات الحفر والتحقيقات الجيوتقنية.

يتكون الاختبار الجيوفيزيائي بشكل أساسي من قياس الموجات الميكانيكية (لتحديد الخصائص المرنة للمواد) أو الموجات الكهرومغناطيسية (لتحديد موقع الأجسام الشاذة مثل التجاويف أو الأجسام المدفونة).

وفقًا للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (a2002، b2002)، فإن مزايا وعيوب الاختبارات الجيوفيزيائية تتمثل فيما يلي:

10.1.1 المزايا

- غير تدميرية و/أو غير توغلية
- اختبار سريع واقتصادي
- الأساس النظري للتفسير
- يستخدم لكل من التربة والصخور
- يصلح بشكل جيد للمساحات الكبيرة
- يميّز المواد عند ضغوط توتيرية صغيرة جدًا - يوفر خصائص مرنة دقيقة منخفضة الإجهاد

10.1.2 السلبيات

- لا توجد عينات أو اختراق مادي مباشر
- كثيرًا ما يفترض النماذج المعقدة للتفسير
- تتأثر القياسات بالمياه، وبالطبقات أو المحتويات الأسمنتية

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- تتأثر النتائج بالعمق من السطح
- أقل فعالية عند وجود اختلافات صغيرة في الصلابة بين الوحدات المجاورة
- لا تعمل بشكل جيد مع الطبقات الصلبة فوق الطبقات اللينة
- غالبًا ما تتطلب معدات متخصصة وخبرة التفسير

10.2 طرق الاختبار الجيوفيزيائية

نلخص أدناه الطرق الشائعة للاختبار الجيوفيزيائي، إلى جانب المعايير المناسبة.

10.2.1 الموجات الميكانيكية

تشمل الموجات الميكانيكية الموجات الزلزالية والصوتية. هناك أربعة أنواع رئيسية من الموجات الميكانيكية: الضغط (موجات P)، والقص (موجات S)، والسطح أو موجات رايلي (موجات R)، والحب (موجات L). ويعد النوعان الأولان الأكثر شيوعًا في التحقيقات الجيوفيزيائية، ولا سيما موجات القص، واللذين يمكن ربطهما مباشرة بمعامل القص المنخفض للتربة أو الصخور.

10.2.1.1 طريقة الانكسار الزلزالي (D 5777ASTM)

تُستخدم هذه الطريقة لتحديد العمق، والسماكة والسرعة الزلزالية للتربة الجوفية أو الصخور أو المواد المصممة هندسيًا. تتطلب الطريقة مصدرًا للطاقة الزلزالية، وكابل الربط، والسماعات الأرضية، وكابل السماعات الأرضية، وجهاز قياس الزلازل. يقيس الانكسار الزلزالي عادةً موجات P، على الرغم من أن التكنولوجيا الحديثة سمحت بقياس موجات S أيضًا (الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة a2002). وهو يستخدم بشكل متكرر في تحديد الجزء العلوي من التكوينات الصخرية الضحلة على مساحات كبيرة نسبيًا.

10.2.1.2 طريقة اختبار الثقوب بالموجات فوق الصوتية (D 4428ASTM)

تُستخدم هذه الطريقة لتحديد السرعة الزلزالية للتربة الجوفية، أو الصخور أو المواد المصممة هندسيًا. وتتطلب هذه الطريقة أنبوبًا مغلفًا (عادةً يكون من البولي فينيل إيثلين ويتم حشوه في مكانه)، ومصدرًا للطاقة الزلزالية (مطرقة قاع البئر)، وكابل الربط، و السماعات الأرضية، وكابل السماعات الأرضية ، وجهاز قياس الزلازل. عادة، يلزم وجود 3 ثقوب حفر، على الرغم من أنه يمكن إجراء الاختبار باستخدام ثقبي حفر. يقيس اختبار الثقوب بالموجات فوق الصوتية كلاً من الموجات P وS التي تنتقل أفقياً عبر الطبقة. يتم إدخال مصدر الطاقة إلى أعماق محددة في فتحة اختبار واحدة، ويتم تحديد سرعة الموجة عن طريق قياس أوقات الوصول في تلك الأعماق في ثقبي حفر آخرين (FHWA 2002a).

10.2.1.3 طريقة اختبار قاع البئر (D 7400ASTM)

تعد طريقة اختبار قاع البئر قابلة للمقارنة مع طريقة اختبار الثقوب بالموجات فوق الصوتية مع الاختلاف الأساسي المتمثل في أن اختبار قاع البئر يقيس سرعة الموجة التي تنتقل عموديًا من مصدر الطاقة على السطح إلى السماعة (السماعات) الأرضية في أعماق محددة في حفرة مجاورة مباشرة - يتطلب الأمر فتحة اختبار واحدة فقط. يعد اختبار الاختراق المخروطي الزلزالي شكلا متكرر الاستخدام لاختبار قاع البئر، مع وجود مقياس تسارع داخل مجموعة المخروط.

10.2.1.4 طريقة الموجة السطحية

تُستخدم هذه الطريقة لتحديد المظهر الجانبي الزلزالي (سرعة موجة القص) للتربة الجوفية، أو الصخور أو المواد المصممة هندسيًا. وتتطلب هذه الطريقة زوجًا من السماعات الأرضية في مصفوفة خطية، أو قوة عابرة أو كتلة اهتزازية لتوليد موجات سطحية، ومحلل طيف أو معدات أخرى لتسجيل البيانات. تحلل طرق الموجات السطحية موجات رايلي، والتي يتم تحويلها للحصول على موجات القص (موجات S). تشمل الاختلافات التحليل الطيفي للموجات السطحية (SASW) والتحليل متعدد القنوات لموجات السطح (MASW).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

10.2.2 الموجات الكهرومغناطيسية

تقيس الطرق الكهرومغناطيسية الخواص الكهربائية والمغناطيسية للتربة لتحديد الظروف تحت السطحية. وتشمل أنواع الخصائص الكهرومغناطيسية المقاومة، والتوصيل، والمجالات المغناطيسية، والخصائص العازلة والنفاذية (FHWA 2002a).

10.2.2.1 رادار اختراق سطح الأرض (D 6432ASTM)

يستخدم رادار اختراق سطح الأرض لتفسير الظروف الجيولوجية أو تحت السطحية باستخدام قياسات التغيّرات في خصائص الموجات الكهرومغناطيسية (أي النفاذية) التي تعبر دالة على نوع المادة تحت السطحية وكثافتها ومحتوى الرطوبة. يتم إرسال نبضات قصيرة من الموجات الكهرومغناطيسية عالية التردد إلى الأرض باستخدام زوج من هوائيات الإرسال والاستقبال. وتستخدم هذه الطريقة هوائي الإرسال لإشعاع الموجات الكهرومغناطيسية. يعتبر رادار اختراق سطح الأرض أكثر فعالية في التربة الحبيبية الجافة مع أعماق اختراق تصل إلى 20 مترًا؛ وفي الطين المشبع الرطب، يقتصر العمق الفعال لرادار اختراق سطح الأرض على حوالي 3 إلى 6 أمتار (FHWA ، 2002 أ).

10.2.2.2 طريقة مقاومة التيار المستمر (D 6431ASTM و G57ASTM)

تستخدم هذه الطريقة لقياس المقاومة الكهربائية للمواد الجوفية كمؤشر لنوع المواد الموجودة تحت السطح. وتتطلب الطريقة مصدرًا للتيار (بطارية أو مولد)، ومقياس جهد عالي المقاومة أو وحدة مقاومة، وأوتاد معدنية للأقطاب الكهربائية الحالية والمحتملة، وكابلات التوصيل. تعتبر المقاومة الكهربائية للتربة أو الصخر أحد المؤشرات على تأثير المواد المسببة للتآكل على الفولاذ المدفون - فالمقاومة العالية عادةً ما تعادل انخفاض التآكل والعكس صحيح. يتم استخدام عكس المقاومة، أي، الموصلية، في تصميم أنظمة التأريض الكهربائية.

10.2.2.3 الطريقة الكهرومغناطيسية لمجال التردد (D 6639ASTM)

تُستخدم هذه الطريقة لتوصيف المواد الجوفية والجيولوجيا بناءً على قدرتها على إجراء، أو تعزيز أو إعاقة تدفق التيار الكهربائي المستحث في الأرض. وتتطلب هذه الطريقة مصدر طاقة، وملف جهاز إرسال، وإلكترونيات جهاز استقبال، وملف جهاز استقبال وكابلات توصيل.

10.2.2.4 طريقة الجاذبية (D 6430ASTM)

تُستخدم هذه الطريقة لتوصيف الظروف تحت السطحية عن طريق قياس التغيرات في مجال جاذبية الأرض الناتج عن الاختلافات في كثافة التربة أو الصخور الجوفية أو وجود فراغات أو هياكل من صنع الإنسان.

10.3 إجراء الاختبارات الجيوفيزيائية

يجب إجراء الاختبارات الجيوفيزيائية وفقًا لمعيار ASTM أو غيرها من المعايير المعتمدة. ويجب اتباع توصيات الشركة المصنّعة للمعايرة والتوحيد القياسي. في حالة عدم تقديم توصيات، يجب إجراء فحوصات دورية لتشغيل المعدات، بما في ذلك بعد كل مشكلة في الجهاز أو إصلاحه وقبل بدء العمل الميداني كل يوم.

يجب إجراء فحص أولي للموقع لتقييم خطة المسح، ويجب تحديد مواقع الأجهزة ومسحها. يجب إجراء المعايرة، والتوحيد القياسي وتفسيرات البيانات من قبل مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي.

يجب أن يشارك العالم الجيولوجي أو الجيوفيزيائي الهندسي المتمرس في إعداد النطاق والمواصفات الفنية للتحقيق الجيوفيزيائي. توجد إرشادات إضافية حول الاختبارات الجيوفيزيائية في FHWA (2002a) و USACE (2001).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

10.4 إعداد التقارير

عند إجراء الاختبارات الجيوفيزيائية، يجب الاحتفاظ بسجلات وسجلات دقيقة لجميع الأعمال المنجزة. يتم تضمين المعلومات التالية في التقرير النهائي للعمل:

- الغرض من المسح ونطاقه
- وصف البيئة الجيولوجية
- حدود المسح
- قائمة الافتراضات الموضوعة
- وصف للنهج الميداني، بما في ذلك المعدات المستخدمة ومعايير الحصول على البيانات المستخدمة
- خريطة موقع على نطاق واسع توضح مواقع الأجهزة
- وصف للنهج المستخدم لإجراء الاختبار، وكذلك وصف التصحيحات المطبقة على البيانات الميدانية ومبررات لاستخدامها
- نتائج القياسات الميدانية، ونسخ السجلات الأولية، وخطط المسافة الزمنية
- وصف للنتائج المفسرة
- وصف تنسيق تسجيل البيانات
- وصف لأي اختلاف عن خطة العمل أو خطة مراقبة الجودة أو دليل ASTM
- قائمة المراجع المستخدمة
- قائمة بالعاملين الذين يقومون بإجراء الاختبار الميداني وتفسير البيانات ومؤهلاتهم.

11.0 الاختبار المعملي

11.1 متطلبات عامة

يجب تحديد الاختبارات المعملية لتحديد الخصائص الفيزيائية، والكيميائية والهيدروجيولوجية للتربة والصخور من أجل تصنيف وتعريف الخصائص الهندسية للتصميم الجيوتقني. بناءً على ظروف الأرض المتوقعة والمعايير المطلوبة، يجب على مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرائد تحديد جميع الاختبارات المطلوبة لتحديد معايير التصميم. وعقب ذلك، تقع على عاتق مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي وفريقه/فريقها مسؤولية استخدام خبرتهم إلى جانب البيانات لوضع خصائص التصميم الجيوتقني وأداء تصميمها بناءً على هذه الخصائص وإرشادات التصميم الجيوتقني الواردة في الجزء ج من هذه الوثيقة. لم يتم توضيح إجراءات الاختبارات المعملية المحددة هنا؛ ويتم توفير مراجع للمعايير والإجراءات المعمول بها للاختبارات المعملية.

11.2 اختيار عينة للاختبار

يخضع عدد العينات المطلوبة إلى حد كبير لحجم المشروع ونوعه، فضلاً عن الظروف الجوفية في المنطقة. ويمكن تحديد المناطق التي تحتاج إلى فهرسة إضافية للتربة والصخور بوصفها عينات يتم تجميعها وتحليلها، ويمكن تعديل متطلبات الاختبار حسب الاقتضاء. تم وضع العديد من المعايير الدنيا التالية التي يتعين النظر فيها عند وضع برنامج اختبار معملي من قبل الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002 أ):

- نوع المشروع (الجسر، والسد، وإعادة الإصلاح، ومعمل تكرير، ومحطة توليد الطاقة، وما إلى ذلك).
- حجم المشروع
- الأحمال التي يتعين فرضها على التربة الأساس

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- أنواع الأحمال (ثابتة، ديناميكية، زلزالية، وما إلى ذلك).
- التفاوتات الحرجة للمشروع (على سبيل المثال، قيود معدلات هبوط المباني)
- الاختلافات الرأسية والأفقية في القطاع الجانبي للتربة على النحو المحدد من سجلات الحفر والتقييمات البصرية
- تحديد أنواع التربة في المختبر
- المشاكل المعروفة أو المشتبه فيها مع التربة في موقع المشروع (على سبيل المثال، انتفاخ التربة، التربة القابلة للانهيار، تربة السبخة، المواد العضوية)
- وجود تضمينات ملحوظة بالعين مثل تلك تجاويف محلول، ومناطق أسمنتية، وما إلى ذلك.

تصنف جميع عينات التربة وفقاً للنظام الموحد لتصنيف التربة (D 2487ASTM). يتم تحديد محتويات الرطوبة للتربة المتماسكة، وللتربة الحبيبية غير المشبعة بنسبة 12 في المائة أو أكثر من الحبيبات الدقيقة. ويجب وصف عينة الصخور الجوفية وصفًا كاملا وتسجيلها قبل إجراء الاختبارات المعملية.

وتجرى معظم الاختبارات الدالة على عينات غير سليمة لم تتم معالجتها بشكل خاص للحفاظ على السلامة الإنشائية. ومن المهم غلق العيّنات بشكل صحيح لتجنب جفافها عند جمعها حتى يمكن تحديد محتوى الرطوبة التمثيلية في المختبر. ويمكن غلق التربة في أنابيب معدنية، أو أكياس بلاستيكية أو برطمانات زجاجية. عادة تخزن عينات الصخور الجوفية في صناديق أخذ عينات صخرية جوفية حيث لا تبذل أي محاولة للحفاظ على محتوى الرطوبة، حيث إن محتوى الرطوبة بالنسبة لمعظم عينات الصخور منخفض جدًا؛ ويمكن تغليف أجزاء من عينات الصخور الجوفية في غلاف من الرقاقات المعدنية أو بلاستيكي وطلائها بطبقة رقيقة من الشمع إذا كانت هناك حاجة إلى تحديد محتوى الرطوبة في المختبر.

ويتعين إجراء الاختبارات المعملية لتحديد الخصائص الهندسية (التجانس، والضغط الثلاثي المحوري، وما إلى ذلك) على عينات مختارة سليمة. يعد مهندس التخصص المعماري/الهندسي الرئيسي مسؤولا عن تحديد متطلبات الاختبار المعملي، بما في ذلك متطلبات ضمان الجودة ومراقبة الجودة. ويجب أن يكون للمقاول الذي يقوم بالتحقيق الجيوتقني بتوجيه من مهندس التخصص المعماري/الهندسي الرئيسي تحكم في شحن العينات وتخزينها. يجب أن يتم حفظ العينات، وشحنها ومناولتها وفقا لمعيار D 4220ASTM. ويكون مرفق تخزين العينات خاضعًا لمناخ خاضع للتحكم.

يرجى الرجوع إلى القسم 2.5 من كود البناء السعودي 303 للاطلاع على إجراءات أخذ العينات المناسبة للتربة المتمددة، والسبخة والقابلة للانهيار.

وللوفاء بمتطلبات المشروع، يلزم التخطيط لعدد مناسب من اختبارات الفهرسة والخواص الهندسية لتغطية الموقع المقترح بصورة كافية. وإذا تبيّن أثناء برنامج أخذ العينات أن التغطية الميدانية غير متساوية، أو تفتقر إلى وحدات طبقية معيّنة، يعاد النظر في برنامج الاستكشاف الميداني وأخذ العينات.

11.3 التصنيف الهندسي واختبارات الخواص

11.3.1 الصخور

يتم عادة إجراء التصنيف الهندسي التالي واختبارات الخواص على عينات الصخور التي يتم الحصول عليها من التحقيقات الميدانية الجيوتقنية (بما في ذلك عينات الصخور السليمة والمسحوقة).

الجدول 11.7-3. التصنيف الهندسي للصخور واختبارات الخواص

الاختبار	الإجراءات المعمول بها	الغرض	الأهمية
الجاذبية والامتصاص المحددة	D 6473ASTM	لتحديد الجاذبية النوعية السائبة أو الظاهرة وامتصاص عينة صخرية.	توفر الجاذبية النوعية والامتصاص رؤى قيّمة لقدرة الصخور على تحمل التجوية، وتقييم التدهور المحتمل.
محتوى المياه	D 2216ASTM	لتحديد المحتوى المائي (الرطوبة) لعينة صخرية حسب الكتلة.	يوفر إشارة غير مباشرة على مسامية العيّنة، أو المحتوى الطيني لصخرة رسوبية.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الاختبار	الإجراءات المعمول بها	الغرض	الأهمية
سرعة الذبذبات والثوابت المطاطية	2845ASTM D (سُحِبت في 2017)	لتحديد سرعة الذبذبات للضغط وموجات القص من خلال عيّنة صخرية، وكذلك الثابت المطاطي فوق الصوتي.	مفيد لوصف تأثيرات الإجهاد أحادي المحور وتشبع الماء على سرعة الذبذبات.
المطرقة الارتدادية	5873ASTM D	لتحديد رقم المطرقة الارتدادية لعيّنة صخرية.	اختبار دلالي بسيط وسريع للصلابة، ومفيد بشكل خاص في الميدان.
النفاذية	4525ASTM D	لتحديد نفاذية (الموصلية الهيدروليكية) عيّنة صغيرة من الصخور (وقابلية نفاذية سائلة مكافئة من خلال الاستقراء).	تعد الموصلية الهيدروليكية مهمة في وصف تدفق السوائل من خلال كتلة صخرية.
المسامية الفعالة	7063ASTM D	لتحديد المسامية الفعالة لعينة صخرية.	تعتبر المسامية جوهرية للنفاذية، ما يؤثر على أشياء مثل تدفق السوائل ومعدل اختراق الحفر.
الفحص الصخري	295ASTM C	لتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعينة الصخرية.	وهو يوفر مؤشرًا لنوع الصخور، والمعادن الموجودة، والتفاعل الكيميائي (الكربونات القلوية وغيرها) من بين الخصائص الأخرى.
التحمل	4644ASTM D 5240ASTM D 5312ASTM D 5313ASTM D	لتحديد مدى تحمل عينة صخرية معرضة لمجموعة متنوعة من التكييف الفيزيائي والكيميائي.	وتميز هذه الاختبارات مدى تحمل الصخور للتجميد/الترطيب (5240D و 5312D)، مدى التحمل لإطفاء الطين اليابس والصخور الضعيفة (4644D)، ومى تحمل الصخور للترطيب/التجفيف (5313D).
LA Abrasion	535ASTM C	لتحديد مقاومة الركام الخشن للانحلال.	ويعتبر مؤشرًا للنوعية النسبية لمختلف مصادر الركام التي تشترك في تركيبات معدنية مماثلة.
اختبار تحميل النقطة	5731ASTM D	لتحديد مؤشر قوة تحمل النقطة للعينة الصخرية.	اختبار دلالي بسيط وسريع للقوة، ومفيد بشكل خاص في الميدان. يمكن أن يكون مرتبطًا بقوة انضغاطية غير محصورة.
القوة الانضغاطية أحادية المحور وثلاثية المحور	7012ASTM D	لتحديد القوة الانضغاطية أحادية المحور و/أو ثلاثية المحور لعينة صخرية.	تعد القوة الانضغاطية أحادية المحور الطريقة الأكثر مباشرة لتحديد قوة الصخور. ويمكن استخدام اختبار القوة الانضغاطية ثلاثية المحاور لحساب زاوية الاحتكاك الداخلي، وزاوية مقاومة القص وعامل التماسك. يوفر الإجراء المدرج طريقة لحساب معامل يونغ ونسبة بواسون من هذين الاختبارين.
مقاومة القصّ المباشرة	5607ASTM D	لتحديد مقاومة القصّ لعينة صخرية.	تمثل قوة القص معيارًا مهمًا للتصميم في بناء الأساسات والمنحدرات. تجعل الفجوات الموجودة في كتلة صخرية من ذلك معيارًا يصعب التحقق منه.
الانسلال أثناء الضغط	7070ASTM D	لتحديد إجهاد عينة صخرية كدالة للوقت.	يوفر معايير كمية لتحليل ثبات الهياكل الجوفية التي تخضع لحمولة ثابتة تقريبًا.

11.3.2 التربة

يتم عادة إجراء التصنيف الهندسي التالي واختبارات الخواص على عيّنات الصخور التي يتم الحصول عليها من التحقيقات الميدانية الجيوتقنية (بما في ذلك عينات الصخور السليمة وغير السليمة).

الجدول 11.7-4. التصنيف الهندسي للتربة واختبارات الخواص

الاختبار	الإجراءات المعمول بها	الغرض	الأهمية
محتوى المياه	4959ASTM D	لتحديد المحتوى المائي (الرطوبة) لعينة من التربة.	يوفر معلومات مهمة عن التربة عند دمجها مع البيانات التي تم الحصول عليها من الاختبارات الأخرى.
حدود اتيربيرج	4318ASTM D	لتحديد حد السائل، وحد اللدونه ومؤشر اللدونة لجزء الحبيبات الدقيقة للعينة.	يعطي مؤشرًا على سلوك التربة والاتساق بالنسبة لمحتوى الرطوبة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الاختبار	الإجراءات المعمول بها	الغرض	الأهمية
المنخل	6913ASTM D	لتحديد توزيع حجم الحبوب.	يوفر وسيلة لتصنيف التربة والركام بناءً على توزيع أحجام الحبوب على كل منخل.
التحليل المائي	422ASTM D (سُحِبت في 2016)	لتحديد توزيع أحجام الجزيئات الأصغر من المنخل رقم 200 (75 ميكرومتر).	يوفر وسيلة لتحديد النسبة المئوية لتواجد جزيئات الطمي والطين.
حيود الأشعة السينية	USACE EM 1906-2-1110 (a1986، USACE)	لتحديد معادن جزيئات الطين.	يعد الحصول على معادن الطين أمرًا مهمًا للتنبؤ بسلوك الطين في ظل ظروف مختلفة.
النفاذية	5084ASTM D	لتحديد التوصيل الهيدروليكي لعينة التربة.	يعتبر التوصيل الهيدروليكي أحد المعايير الرئيسية المستخدمة عند اختيار مواد التربة للبناء (نوع الردم وما إلى ذلك).
إمكانية الانتفاخ	4546ASTM D	تقدير احتمالية حدوث انتفاخات التربة التي يسببها الترطيب.	يعد التخفيف من آثار التربة والطين الممتد أحد الاعتبارات المهمة في التصميم.
إمكانية الانهيار	4546ASTM D	لتقدير احتمالية الانهيار الناجم عن الترطيب للتربة.	في حال محتويات الرطوبة العالية، تخضع التربة القابلة للانهيار مثل التربة السائبة لتغيير مفاجئ في الحجم، ما يشكل خطرًا على سلامة الهيكل.
القوة الانضغاطية غير المحصورة	2166ASTM D	لتحديد قوة الانضغاطية غير المحصورة للتربة المتماسكة.	يوفر مقياسًا جيدًا لمقاومة القص للتربة.
قوة ثلاثية المحاور	2850ASTM D 4767ASTM D	لتحديد علاقة القوة والإجهاد للتربة المتماسكة غير المستقرة أو المعاد تشكيلها.	يمكن أن توفر بعض الاختبارات ثلاثية المحاور معايير إجهاد فعالة للتربة (التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي).
القص المباشر	3080ASTM D	لتحديد قوة القص الموحدة، المجففة للتربة الحبيبية أو المتماسكة.	يوفر اختبارًا بسيطًا وسهلاً لمقاومة القص، على الرغم من وجود بعض أوجه القصور الموضحة في الإجراء المشار إليه.
ريشة مصغرة	4648ASTM D	لتقدير قوة القص غير المصفاة للتربة ذات الحبيبات الدقيقة، أو غير المضطربة، أو المعاد تشكيلها أو المعاد تكوينها.	يوفر اختبارًا ميدانيًا أو معمليًا سريعًا لتقدير قوة القص للتربة.
الدمج	2435ASTM D 4186ASTM D	لتحديد سلوك الدمج أحادي البعد للتربة المتماسكة.	يوفر معايير كمية لتقدير تسوية التربة المتماسكة.
أعمال الدمك	698ASTM D 1557ASTM D	لتحديد خصائص ضغط التربة.	يوفر أقصى كثافة جافة ومحتوى رطوبة مثالي لمواد التعبئة.

12.0 الدراسات الجيوتقنية في البحر

12.1 مقدّمة

تعتبر التحقيقات البحرية (على سبيل المثال، بالنسبة لهياكل المياه العميقة ومنصات إنتاج النفط) بما في ذلك تلك الخاصة بالهياكل القريبة من الشاطئ (مثل حواجز الأمواج وجدران الركائز اللوحية للموانئ) عالية التخصص، وبالرغم من الإجراءات الأساسية للتحقيق بالموقع الجيوتقني (على سبيل المثال، يرجى الرجوع إلى كود البناء السعودي وD 420 ASTM)، يجب الالتزام بالعديد من المتطلبات الأخرى المتعلقة بالمياه السعودية والدولية. هناك العديد من القوانين واللوائح الإضافية التي تنطبق على أعمال التحقيق الجيوتقنية البحرية (خاصة تلك المتعلقة بالمياه الدولية). يتم تضمين المعايير واللوائح المعمول بها في، على سبيل المثال لا الحصر، ما يلي:

- المعهد الأمريكي للبترول
- الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- الرابطة الدولية للمقاولين البحريين
- اللجنة الدولية لحماية الكابلات/جمعية تكنولوجيا تحت الماء
- الرابطة الدولية للمقاولين البحريين
- المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (سلسلة ISO 19900) صناعات البترول والغاز الطبيعي - المتطلبات العامة للهياكل البحرية).

بالإضافة إلى ذلك، يجب النظر في أكواد الممارسة الخارجية المعمول بها إذا وجدت مناسبة لمشروع معين. يتعين إيلاء الاعتبار الواجب للوائح الشحن، والمرافئ واللوائح الأخرى فيما يتعلق بوضع مقترحات التحقيق وإجراء التحقيق في الموقع، وللحصول على إذن باستخدام المرافق فوق سطح الماء المقترحة.

بالنسبة للحالات البسيطة، مثل التحقيقات بشأن المياه الضحلة في المياه البعيدة عن الشاطئ والقريبة من الشاطئ، يمكن استخدام تحقيق من نوع الأرض مع المرافق الإضافية اللازمة للوصول، مع مراعاة عمق المياه. ومع زيادة الصعوبات المرتبطة بالوصول إلى المياه وعمقها، يجب تحديد تقنيات التحقيقات البحرية بما في ذلك أحكام لاستخدام المنصات الثابتة والعائمة.

12.2 موارد مفيدة

تتوفر العديد من المواد المرجعية والوثائق التوجيهية التي تحتوي على معلومات حول تخطيط وتنفيذ الاستكشافات البحرية. بتم توفير قائمة جزئية أدناه:

- التحقيقات الجيوتقنية والجيوفيزيائية للتطورات البحرية والقريبة من الشاطيء، بواسطة TC 1 من الجمعية الدولية لميكانيكا التربة والهندسة الجيوتقنية (2005).
- الهندسة الجيوتقنية البحرية: المبادئ والممارسات، دين (2010)
- الهندسة الجيوتقنية البحرية، راندولف وجورفينيك (2011)
- ملاحظات إرشادية لتخطيط وتنفيذ التحقيقات الأرضية الجيوفيزيائية والجيوتقنية لتطورات الطاقة المتجددة البحرية، من قبل جمعية تكنولوجيا تحت الماء (التحقيقات في المواقع البحرية والجيوتقنية، 2014).

تم توفير مرجع كامل لهذه الوثائق في الملحق أ.

12.3 الاعتبارات الرئيسية

نظرًا لأن التحقيقات البحرية تنطوي على قدر أكبر من عدم اليقين والتكلفة، فإنها تتطلب تخطيطًا أكثر شمولاً لنطاق الأعمال والتحضير لتعبئة الأعمال واستكمالها. وللتحكم في المتغيرات والمخاطر/الأخطار المرتبطة بها ولضمان عدم تأثيرها سلبًا على المشروع والتصميم اللاحق، يوصى بإنشاء سجل مخاطر جيولوجية وجيوتقنية خاص بالمشروع والاحتفاظ به بمجرد بدء المشروع. تشمل المخاطر/الأخطار النموذجية التي قد تكون موجودة في موقع التحقيق الجيوتقني البحري ما يلي (التحقيقات في المواقع البحرية والجيوتقنية، 2014):

- مناطق التربة الرخوة (على سبيل المثال، الرواسب الحديثة جدًا، تعبئة القناة) التي قد يؤثر وجودها على وضع الأساس وأعماق التركيب وقد يقيد أيضًا اختيار سفن التركيب
- المناطق التي يكون فيها قاع البحر متحركًا؛ سيؤثر ذلك على سلوك الأساس، والأحمال وأعماق التركيب، وقد يؤثر أيضًا على توجيه الكابلات، والتركيب والدفن/الحماية على المدى الطويل
- التربة شديدة الصلابة أو صخور القاع، والتي قد يؤثر وجودها على طرق تركيب الأساس وأعماق التركيب، فضلاً عن خيارات وطرق توجيه الكابلات والدفن/الحماية

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- تباين المساحات في ظروف الأساس التي قد تتطلب اختيار أكثر من نوع أساس واحد لمنطقة التطوير
- عوائق قاع البحر أو المدفونة، الصخور، ذخائر غير منفجرة، وغيرها.
- الغاز الضحل، الذي قد يؤثر وجوده على استقرار الأساس والتنفيذ الآمن لحفر التربة الجيوتقنية
- المخاطر الزلازلية وإمكانية تسييل التربة
- المشاكل البيئية التي يمكن أن تؤثر أو تتأثر بالمشروع.

12.4 أنواع التحقيق

لإدارة التحقيقات تحت السطحية البحرية بشكل فعال، يجب التخطيط لجميع التحقيقات بأهداف وغايات واضحة للغاية. يجب أن يتضمن تسلسل برنامج التحقيق الخارجي، والذي سيتم تحديده في مرحلة التخطيط، ما يلي.

12.4.1 دراسة أولية (مكتبية)

والهدف من ذلك تحديد وتجميع المعلومات الموجودة في الوثائق المنشورة، وأرشيفات الشركة (إن وجدت)، والمصادر عبر الإنترنت، ومن موفري البيانات الفنية. يجب أن تتناول الدراسة الأولية العناصر التالية، من بين أمور أخرى (OSIG, 2014):

- تحديد المنطقة المراد التحقيق بشأنها
- استخدام الاسناد والإسقاط الجيوديسي
- استخدام الاسناد الرأسي (المد والجزر)
- متطلبات المشروع
- متطلبات الترخيص والموافقة ذات الصلة بالمنطقة التي سيتم التحقيق بشأنها
- دراسات اختيار الأساس المفاهيمي
- البيانات الجيوفيزيائية و/أو الجيوتقنية الموجودة
- بيانات التحقيق في الموقع الحالية والتقارير الخاصة بالمواقع القريبة
- المشاكل البيئية (الثدييات البحرية، بيئة قاع البحار، وغيرها)
- بيانات المجال العام (مثل، الرياح، والأمواج، والمد والجزر، والطقس، والمناخ)
- أي خبرة أو معرفة محلية أخرى
- سجل مخاطر يشمل جميع الأخطار على السلامة العامة والمشروع والبيئة.

12.4.2 المسح الجيوفيزيائي

يتضمن ذلك استخدام أجهزة غير تدخلية للحصول على فهم عام لطبيعة وخصائص قاع البحر. يجب أن يشارك عالم جيوفيزيائي متمرس متخصص في الهندسة البحرية في إعداد نطاق المسح الجيوفيزيائي والمواصفات الفنية. وفيما يلي بعض الأدوات الجيوفيزيائية البحرية شائعة الاستخدام:

- مصدر صدى الصوت - نظام صوتي، يستخدم لقياس عمق المياه، مثبت على الهيكل
- سونار المسح الجانبي - نظام صوتي، يستخدم لتحديد خصائص قاع البحر، مثبت على الهيكل أو مقطور
- جهاز القرقرة والجرس الصوتي - أنظمة زلزالية عالية الدقة، تُستخدم لتحديد التربة الضحلة، وعمق من 10 إلى 50 مترًا؛ تكون أجهزة القرقرة إما محمولة على هيكل أو مقطورة، وعادة ما تكون مثبتة على هيكل

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- الرافعات والشرارات - أنظمة زلزالية عالية الدقة، تُستخدم لتحديد التربة ذات العمق المتوسط، من 60 إلى 100 متر، يتم قطرها.

12.4.3 التحقيق الجيوتقني للاختراق الضحل

يتضمن ذلك الاختبار في الموقع وأخذ عينات من التربة إلى أعماق ضحلة نسبيًا (بضعة أمتار) تحت قاع البحر، مع الاختبارات المعملية اللاحقة. هذه الخطوة مطلوبة بشكل عام لخطوط الأنابيب والهياكل الصغيرة. يرد مزيد من التفاصيل عن هذا النوع من التحقيق في الأقسام التالية.

12.4.4 التحقيق الجيوتقني للاختراق العميق

يتضمن ذلك قدرًا كبيرًا من العمل الميداني مع الاختبار في الموقع وأخذ عينات التربة إلى أعماق تصل إلى 120 مترًا أو أكثر تحت قاع البحر، مع اختبارات معملية مكثفة.

يتم تنفيذ ذلك عادة للمواقع التي يتم فيها التخطيط لمنصات بحرية ثابتة. يرد مزيد من التفاصيل عن هذا النوع من التحقيق في الأقسام التالية.

12.5 تقنيات الحفر وأخذ العينات الجيوتقنية

يتمثل الهدف الأساسي من التحقيق في الموقع الجيوتقني البحري في تحديد طبقات التربة/الصخور في مواقع الهيكل المقترحة وقياس الخصائص للتربة والصخور، عن طريق الاختبار في الموقع واختبار العينات المعملية. تم توفير أوصاف تفصيلية لمختلف تقنيات الحفر الجيوتقنية البحرية في الجمعية الدولية لميكانيكا التربة والهندسة الجيوتقنية (2005) ودين (2010). تشمل أنظمة الحفر وأخذ عينات من الصخور البحرية الشائعة ما يلي:

12.5.1 عميلات حفر التربة

يتمثل الأسلوب الأكثر استخدامًا للحفر البحري وأخذ عينات من التربة العميقة في حفر الغسل الدوار الموصوف في القسم 8.3.3. عادةً ما تكون معدات الحفر أكبر وأقوى من تلك المستخدمة على الأرض. يتم إجراء الحفر عادة من خلال فتحة في سطح السفينة (بركة القمر) التي تمتد عبر الهيكل.

في حالة الحفر من منصة، قد تكون الحفارة ناتئة على حافة المنصة. يجب إضافة مركب الباريوم إلى مائع الحفر لزيادة وزنه لمنع الانفجار حيث يتوقع وجود جيوب غاز ضحلة. ونظرًا لأنه يمكن إجراء الحفر في أعماق المياه التي تقترب من 100 متر في الخليج العربي وعدة مئات من الأمتار في البحر الأحمر، وإلى أعماق تزيد عن 100 متر تحت قاع البحر، فإن أخذ عينات سلكية من التربة يقلل من الوقت (وبالتالي التكلفة) من التحقيق بشكل كبير. مع أخذ العينات السلكية، يتم الحصول على عينات من الطين في الأنابيب ذات الجدران الرقيقة والعينات الحبيبية في أدوات أخذ العينات ذات الأسطوانة المنقسمة باستخدام مطرقة أسفل الحفرة.

12.5.2 حفر الصخور

عند مواجهة الصخور، يمكن أخذ عينات منها باستخدام تقنيات حفر الصخور الموضحة في القسم 8.3.7. يتم استخدام الحفر السلكي بشكل شبه عالمي في التحقيقات البحرية. وبدلاً من ذلك، يمكن حفره باستخدام جهاز حفر قاع البحر كما هو موضح في القسم التالي.

12.5.3 حفارات قاع البحر

عادة ما يتم التحكم في أجهزة الحفر المتخصصة هذه عن بُعد ولكن يمكن تشغيلها بواسطة الغواصين في المياه الضحلة نسبيًا (أقل من حوالي 30 مترًا في العمق). تكمن الميزة الكبيرة في كل من المياه العميقة والضحلة نسبيًا في أن الحفارة مستقلة عن ظروف البحر - يمكن تركها في قاع البحر حتى إذا تم إجبار سفينة التشغيل على الخروج من الموقع بسبب سوء الأحوال الجوية. وتتمثل الميزة الرئيسية في المياه العميقة في إزالة سلسلة الحفر من سفينة الحفر إلى قاع البحر. تكمن أكبر مشكلة في الصعوبة اللوجستية التي ينطوي عليها استرجاع العينات. في حالة مشاركة الغواصين، يمكنهم عادةً البقاء في الأسفل لفترة محدودة فقط (حوالي ساعة واحدة على عمق 20 مترًا من المياه) وبالتالي هناك حاجة إلى فريق من الغواصين.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

12.5.4 أدوات استخراج عينات الصخور الجوفية وأخذ العينات المختلفة

هناك مجموعة متنوعة من أدوات أخذ العينات المصممة للحصول على عينات من أسفل قاع البحر مباشرة، إلى أطوال قصوى تتراوح عادةً من حوالي 3 أمتار إلى 10 أمتار، اعتمادًا على نوع أداة أخذ العينات ونعومة/رخاوة التربة. يبلغ القطر النموذجي 100 مم، ويتراوح مداها من حوالي 75 مم إلى 150 مم. يتم إنزال أداة أخذ العينات (وأي هيكل) إلى قاع البحر ثم تنشيطه. يتم وصف أدوات الحفر شائعة الاستخدام أدناه.

12.5.4.1 أداة استخراج عينات الصخور الجوفية عن طريق الجاذبية

هذه أبسط أدوات استخراج عينات الصخور الجوفية. تم تجهيز أسطوانة (استخراج) العينات اللبية الفولاذية بقاطع لب حاد قابل للاستبدال في الجزء السفلي وبطانة لب قابلة للاستبدال داخل أسطوانة (استخراج) العينات اللبية لتسهيل انتزاع العينة. تم تجهيز الأسطوانة بزعانف تثبيت خارجية لضمان الحركة العمودية أثناء الاختراق. عند تنشيط أداة أخذ العينات، تقوم مجموعة من أوزان الرصاص المثبتة على الجزء العلوي من أداة أخذ العينات بدفع أداة أخذ العينات إلى التربة. يتم تحديد عدد الأوزان المستخدمة من خلال تناسق الرواسب وطول العينة المطلوبة. يتم تركيب ماسك اللب داخل نهاية الأسطوانة.

12.5.4.2 أداة استخراج عينات اللب المكبسي

يستخدم هذا النوع من قاطع الجاذبية مكبسًا داخل الأسطوانة ويعمل بشكل مشابه لأخذ عينات المكبس الموصوف في القسم 8.4.1 ، ما يمنع انسداد أسطوانة العينات اللبية.

12.5.4.3 أداة استخراج عينات اللب الاهتزازية

يحتوي هذا الاختلاف في أداة استخراج عينات الصخور الجوفية عن طريق الجاذبية على محرك كهربائي كبير يقوم بتشغيل أوزان متحدة المركز لإنتاج اهتزاز كافٍ لتجميع اللب الحبيبي الذي يصل طولها إلى 9 أمتار.

12.5.4.4 أداة استخراج عينات اللب الصندوقية

وهي تختلف تمامًا عن أدوات اللب الموصوفة أعلاه من حيث أنها تستعيد عينات على شكل صندوق بأبعاد أكبر العينات تبلغ حوالي 0.5 م × 0.5 م × 0.5 م. وهي تتمتع بآلية مجرفة مزدوجة تؤدي إلى إحتواء العينة بالكامل بعد الارتداد.

12.5.4.5 أداة أخذ العينة عن طريق الإمساك

هذه إحدى أبسط أشكال معدات أخذ عينات قاع البحر - فهي في الأساس عبارة عن دلو صدفي يمكن تشغيله يدويًا أو هيدروليكيًا. يمكن لأداة أخذ العينات التي يتم تشغيلها يدويًا العمل في أعماق تصل إلى 4000 متر من المياه.

12.6 الاختبار في الموقع

بالإضافة إلى الحفر وأخذ العينات، تتوفر العديد من الاختبارات في الموقع للاستكشاف الجيوتقني البحري. والتي تتضمن:

12.6.1 اختبار الاختراق المخروطي

في المياه العميقة، يتم إجراء هذا الاختبار بشكل شائع من قاع البحر. يحدد وزن النظام في قاع البحر التفاعل المتاح لإجراء الاختبار. يتم دفع القضبان هيدروليكيًا، عادةً بشوط في نطاق يتراوح من 1.5 إلى 5 أمتار. يمكن أيضًا إجراء اختبارات الاختراق المخروطية من سطح السفينة - يفضل استخدام بارجة الرافعة لأنه حتى الحركة الأفقية الطفيفة يمكن لها ثني القضبان، وأي حركة رأسية ستعطي قراءات خاطئة. من الأفضل إجراء الاختبار داخل قضبان الحفر لمنع انحناء قضبان اختبار الاختراق المخروطي بين السطح وقاع البحر.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

في المياه الضحلة، يمكن تشغيل اختبار الاختراق المخروطي من شاحنة ذات عجلات عالية أو مركبة برمائية. تم استخدام المركبات التي يتم تشغيلها عن بُعد بنجاح في كل من المياه الضحلة أو العميقة قليلاً.

12.6.2 اختبار ريشة القص

هذا الاختبار مناسب بشكل خاص للاستخدام في الطين شديد النعومة بالقرب من قاع البحر، حيث يمثل أخذ العينات غير المستقرة تحديًا. يمكن تشغيل الريشة من قاع البحر أو من سطح السفينة، من خلال سلسلة الحفر.

12.6.3 الاختبارات الأخرى في الموقع

تشمل الاختبارات التي يتم إجراؤها في الموقع بشكل أقل شيوعًا ما يلي:

- مقياس الضغط (انظر القسم 9.3)
- مقياس التوسيع (انظر القسم 9.5)
- مقاييس اختراق التدفق - آلية تشوه التربة متناظرة في المستوى عموديًا على محور مقياس الاختراق؛ ومن الأمثلة على ذلك عمود T ومقاييس اختراق الكرة الكروية.

للحصول على معلومات إضافية حول الاختبارات في الموقع في البحر، يرجى الرجوع إلى الجمعية الدولية لميكانيكا التربة والهندسة الجيوتقنية (2005) ودين (2010).

12.7 السفن، والمنصات وأنظمة النشر

يعتمد اختيار أنظمة النشر جزئيًا على نوع المعلومات المطلوبة، وجزئيًا على البيئة، وعلى مدى توفر المعدات المناسبة وتكلفتها. تشمل أنظمة النشر ما يلي.

12.7.1 سفن الحفر الجيوتقنية

هذه هي السفن المصممة فقط للتحقيق تحت السطحي في الخارج، على سبيل المثال، سفينة الحفر والأبحاث Glomar Challenger التي تم تصميمها لبرنامج حفر أعماق البحار. وهي غير شائعة جدًا.

12.7.2 السفن المحولة

تتمثل السفينة الأكثر شيوعًا المستخدمة في التحقيقات الجيوتقنية البحرية في قارب عمل حقل النفط المحول. تحتوي هذه السفن على غرفة القيادة، وأجنحة الطاقم، وما إلى ذلك عند مقدة السفينة، مما يترك سطحًا مفتوحًا طويلًا لجهاز الحفر وقضبان الحفر وتخزين البنتونيت وخلطه، وغيرها. يشمل التحويل تركيب بركة قمر، ورافعات كبيرة لإدارة المراسي (انظر القسم 12.8). يجب أن تكون السفينة كبيرة إلى حد ما - بمجرد تثبيتها للحفر، يجب أن تظل مستقرة في ظل ظروف الرياح والمد والجزر المتغيرة.

متطلبات السفن للمسوحات الجيوفيزيائية أقل تطلبًا بكثير. غالبية معدات القياس إما تناسب المقصورة، أو متصلة بالبدن، أو يتم جرها بواسطة القارب، والتي تكون عادةً أصغر بكثير (وغالبًا ما تكون أسرع) من المستخدمة في الحفر.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

12.7.3 الصنادل

على الرغم من أنه يمكن استخدام صنادل التشييد البحرية الكبيرة في التحقيقات الجيوتقنية، إلا أن هذا لن يحدث عادةً إلا في حالة عدم توفر سفن أخرى، نظرًا لأن استئجار هذه الصنادل يعد مكلفًا للغاية. عادة ما تستخدم الصنادل الصغيرة للحفر في الأنهار والبحيرات والقرب من الشاطئ. عادة لا تكون هذه الصنادل ذاتية الدفع ولكن يمكن تزويدها برافعة تعمل بالديزل. ويمكن تزويدها ببركة قمر أو يمكن تثبيت الحفارة على الجانب. غالبًا ما يُطلق عليها صنادل أعمدة الحفر لأنها مزودة بأعمدة حفر - ركائز فولاذية عمودية متصلة بالصندل (عادةً في المقدمة والخلف) يتم تحريرها وتخترق قاع البحر لتثبيت البارجة في مكانها.

12.7.4 المنصات ذاتية الرفع

تأتي هذه المنصات بأحجام مختلفة، بداية من المنصات التي يمكن نقلها عن طريق البر وتجميعها على الشاطئ، إلى المنصات العابرة للمحيطات المستخدمة للتنقيب عن النفط. عادة ما يتم سحب الصنادل إلى موقعها، ويتم إنزال الأرجل إلى قاع البحر، ويتم رفع جسم البارجة على أرجلها حتى تصبح ظاهرة بدرجة كافية من الماء. ستخترق الأقدام الموجودة في قاعدة الأرجل قاع البحر حتى يتم تحقيق التحمل الكافي. يمكن تركيب أقدام أكبر للعمل في التربة الرخوة. قبل الرفع، يمكن استخدام ثقل ماء إضافي ليكون بمثابة تحميل مسبق، وتفريغه قبل بدء عمليات الحفر. تتمثل الميزة الكبرى للصندل ذاتي الرفع في ثباته وقلة حركته، حتى في الطقس القاسي.

12.7.5 المركبات ذات العجلات العالية/البرمائية

تُستخدم في المياه الضحلة جدًا للقارب، أو في ظروف المستنقعات/الأهوار. غالبًا ما يطلق عليها عربات المستنقعات أو الأهوار، ويمكن أن يكون لها جنزير أو إطارات كبيرة.

12.7.6 أنظمة التحكم عن بُعد

كما هو مذكور في القسم 12.5.3، فإن المعدات التي يتم التحكم فيها عن بُعد أو التي يتم تشغيلها بواسطة الغواص متاحة للعمل في قاع البحر. ويمكن استخدام مجموعة متنوعة من سفن الدعم، حيث تتمثل القدرة الرئيسية في القدرة على خفض ورفع معدات الحفر من قاع البحر وإليه.

12.8 تحديد المواقع والرسو

تتطلب التحقيقات الجيوفيزيائية أو الجيوتقنية البحرية والقريبة من الشواطئ أنظمة دقيقة لتحديد المواقع. يتم التحكم في تحديد المواقع باستخدام بيانات من نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، وهو نظام من الأقمار الصناعية حول العالم. عند الحاجة إلى تحديد المواقع تحت الماء ، يمكن استخدام أنظمة تحديد المواقع الصوتية مثل (USBL Ultra Short Baseline) أو (LBL Long Baseline) أو الأنواع الخاصة منها. لمزيد من التفاصيل حول تحديد المواقع في البحر، راجع الجمعية الدولية لميكانيكا التربة والهندسة الجيوتقنية (2005).

بالنسبة للحفر/أخذ العينات والاختبار في الموقع، من الضروري تقليل حركة السفن أثناء العمليات. بالنسبة لقوارب العمل في حقول النفط المحولة، فإن نظام الإرساء المكون من 4 نقاط كافٍ. يتم تثبيت المراسي الكبيرة بواسطة كابل مثبت على الروافع على جانبي مقدمة القارب ومؤخرته. عادة ما يتم أخذ المراسي وإسقاطها بواسطة سفينة دعم. يتم شد الكابلات باستخدام الرافعات، ويتم تموضع القارب بدقة عن طريق ضبط طول كل كابل. يتم وضع القارب في مواجهة أي تضخم.

12.9 الاختبار المعملي

تختلف التقنيات المعملية لتحقيقات المواقع البحرية بشكل أساسي عن تلك المطبقة على التحقيقات الخاصة بالتطورات البرية وتتبع عمومًا نفس المعايير (راجع القسم 11).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

واعتمادًا على الحجم والغرض من التحقيق الجيوتقني البحري، قد يكون مختبر اختبار التربة/الصخور جزءًا من العملية البحرية. عندما يكون التحقيق لهيكل المياه العميقة المخطط له مثل منصة إنتاج النفط التي تحتاج إلى دعم من خلال ركيزة، يمكن إجراء اختبار قوة العينات حيث يتم استخراج العينات من أجل تقدير طول الركيزة المطلوبة، وبالتالي تحديد العمق المطلوب للحفر. على الرغم من إجراء بعض الاختبارات في البحر أثناء العمل الميداني، إلا أن الاختبارات طويلة الأمد مثل اختبار التوحيد سيتم إجراؤها على اليابسة بشكل عام.

13.0 تقرير البيانات الجيوتقنية

يجب تقديم نتائج التحقيق الجيوتقنية في تقرير بيانات جيوتقنية، يعده المقاول الذي يقوم بإجراء التحقيق وتحت إشراف مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي.
يجب إعداد مسودة تقرير للمراجعة من قبل مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي والجهة العامة، متبوعًا بتقرير نهائي يتضمن جميع الملاحظات.

يجب أن يتضمن تقرير البيانات الجيوتقنية:

- وصف النطاق والإطار الزمني للدراسة وكادر التحقيق وطاقمه
- وصف الموقع (المواقع) الذي تم فيه التحقيق
- وصف جيولوجيا منطقة الموقع
- بيانات مسح نقطة الاستكشاف الفعلية المضمنة
- وصف جميع المعدات الميدانية الرئيسية المستخدمة في التحقيق
- سجلات حفر مطبوعة بأوصاف جيولوجية للتربة والصخور أعدت وفقًا للمواصفة ASTM D 2487 وD2488 والإرشادات المقدمة من مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي
- تقرير قياس طاقة المطرقة لإختبار الإختراق المعياري، إذا لزم الأمر
- سجلات حفرة الاختبار النموذجية، مع أوصاف التربة وفقًا للمواصفة ASTM D 2487 وD2488 حسب الاقتضاء
- تم إنشاء سجلات مطبوعة لآبار المراقبة وأجهزة قياس الضغط، جنبًا إلى جنب مع نتائج اختبارات التوصيل الهيدروليكي التي تم إجراؤها وقراءات منسوب المياه
- سجل لكل اختبار اختراق مخروطي تم إجراؤه، يُظهر عرضًا رسوميًا لمختلف البيانات المقاسة (مقاومة الطرف، احتكاك الغلاف، ضغط المياه الجوفية المحتجزة، نوع التربة المفسر، إلخ) مقابل العمق
- نتائج الاختبارات الأخرى التي تم إجراؤها في الموقع (مقياس الضغط، مقياس التمدد المسطح، إلخ)
- نتائج المسح الجيوفيزيائي (المحتوى الموضح في القسم 10.4)
- جداول موجزة لنتائج جميع الاختبارات المعملية المنجزة
- قطع من نتائج الاختبارات المعملية (منحنيات بحجم الحبوب، ومنحنيات الإجهاد والضغط من اختبارات القوة ثلاثية المحاور، ونسبة الفراغ مقابل منحنيات ضغط السجل من اختبارات الدمج، وما إلى ذلك)
- أي بيانات أخرى تم جمعها خلال برنامج التحقيق تحت السطحي
- الملفات الإلكترونية لبيانات سجل الحفر، وبيانات اختبار الاختراق المخروطي، وما إلى ذلك بتنسيق يحدده مهندس التخصص الإنشائي/الهندسي الرئيسي.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

القسم ج: إرشادات التصميم الميكانيكي

14.0 تفسير الظروف الجيوتقنية

قبل أن يبدأ التصميم الجيوتقني، يجب تحليل البيانات الجيوتقنية التي تم الحصول عليها وفقًا للجزء ب وتصميم (أو أفضل تقدير) القيم المخصصة للتربة وخصائص الصخور. وتتمثل الخطوة الأولى في هذه العملية في تحديد ترتيب طبقات، أو طبقات الموقع.

14.1 المقاطع الجانبية تحت السطحية

يجب رسم المقاطع الجانبية السطحية التمثيلية (تسمى أحيانًا أقسام جيولوجية هندسية في موقع صخري بشكل أساسي) من خلال الهياكل الرئيسية (أو على طول المحاذاة إذا كان مشروعًا خطيًا) بحيث توضح الدرجة الحالية، والدرجة النهائية، وكل طبقة من التربة والصخور، بما في ذلك مواقع الحفر ونسبة المياه الجوفية المقاسة في كل موقع. إذا كان المقياس يسمح بذلك، فإن قيم N_{60} في المقطع الجانبي توفر نظرة عامة سريعة على القوة والكثافة النسبية لكل طبقة تربة. وبالمثل، توفر قيم تعيين جودة الصخور نظرة عامة على جودة الصخور.

14.2 قيم تصميم خصائص التربة والصخور

تشكل هذه القيم أساس التحليلات اللاحقة لقدرة التحمل، وهبوط التربة، وقدرة الركائز، واستقرار المنحدر، وغيرها. ويتم الحصول عليها إما من القياسات الميدانية و/أو المعملية، أو من العلاقات التجريبية الموجودة في الكتابات.

14.2.1 <u>التربة</u>

راجع الجدول 4-7.11 لمعرفة معايير ASTM المناسبة المستخدمة للحصول على بعض الخصائص التالية:

- محتوى الماء (ث) - من القياسات المعملية
- حدود اتيربيرج (LL ، وPL، PI) - من القياسات المعملية
- توزيع حجم الحبوب (الجسيمات) - من القياسات المعملية
- وزن الوحدة (γ) - من عينات سليمة (عادة من الطين، ومن العلاقات التجريبية مع N_{60} للرمل والحصى
- الثقل النوعي (G_s) - من القياسات المعملية، أو استخدم 2.7 إلى 2.75 لمعظم أنواع التربة إذا لم تتوفر نتائج اختبار
- N_{60} - من متوسط قياسات قيمة N، ثم يتم تعديلها وفقًا لطاقة المطرقة
- القوة الانضغاطية غير المحصورة (U) - من القياسات المعملية
- مقاومة القص غير المصححة للتربة المتماسكة (c_u) - من القياسات المعملية، أو من الارتباطات بقياسات اختبار الاختراق المخروطي؛ القيم التقريبية من الارتباط مع N_{60}
- زاوية الاحتكاك الداخلي (φ) - من القياسات المعملية (القص ثلاثي المحاور أو القص المباشر)، أو من الارتباطات التجريبية (بشكل أساسي مع N_{60})
- الكثافة النسبية (D_r) - من القياسات المعملية أو من الارتباطات التجريبية (بشكل أساسي مع N_{60})
- النفاذية (ك) - من القياسات الميدانية والمعملية
- معامل التوحيد (c_v) - من القياسات المعملية
- سرعة موجة القص والضغط (V_s وV_p) - من القياسات الميدانية
- معامل القص، الضغط المنخفض (G_L) - من V_s و γ.
- معامل القص، الاجهاد العالي (G_H) - من GL باستخدام علاقة المعامل مقابل الاجهاد، أو من العلاقة بين G و E وμ
- معامل المرونة، الاجهاد المنخفض (E_L) - من العلاقة بين E و G و μ

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- معامل المرونة، الإجهاد العالي (E_H) - عادةً من العلاقات التجريبية مع N_{60} (الرمل) أو c_u (الطين)
- نسبة بواسون (μ) - من العلاقة بين سرعة موجة القص والضغط، أو استخدام 0.25 إلى 0.35 للتربة الحبيبية و0.35 إلى 0.45 للتربة المتماسكة إذا لم تتوفر نتائج اختبار
- معاملات ضغط الأرض الثابت (K_a, K_p, وK_0) - من العلاقة مع φ؛ بالنسبة لمعامل السكون K_0، عادةً ما يتم استخدام 0.5 إذا كانت القيمة المحسوبة 0.5>
- معامل الانزلاق ($\delta\tan$) - للخرسانة ضد التربة أو الصخور، وعادة ما تستخدم $\delta = 3/2\varphi$
- نسبة تحمل كاليفورنيا CBR - من القياسات الميدانية أو المعملية
- الرقم الهيدروجيني - من القياسات المعملية
- محتوى الكبريتات والكلوريد - من القياسات المعملية
- المقاومة الكهربائية - بشكل أساسي من القياسات الميدانية ولكن يمكن إجراء القياسات المعملية
- المقاومة الحرارية - تُقاس بشكل أساسي عبر القياسات المختبرية وفي نفس الوقت يمكن إجراء القياسات الميدانية أيضًا.

14.2.2 الصخور

يُرجى الرجوع إلى الجدول 3-7.11 لمعرفة معايير الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM) المستخدمة للحصول على بعض الخصائص التالية نسرد فيما يلي فقط خصائص التربة التي لم ترد بالقسم 14-2-1 :

- الاستخراج - يُقاس بأخذ عينة من الصخور
- تعيين جودة الصخور - يُقاس بأخذ عينة من الصخور
- مؤشر قوة تحميل النقطة (I_S) - من القياسات المختبرية
- المتانة (التجمد/الذوبان، الرطوبة/ الجفاف، التخفيف بالماء، الإضعاف) - من القياسات المختبرية.

15.0 تصميم الأساسات

يقدم هذا القسم إرشادات عن التصميم الجيوتقني للأساسات السطحية والعميقة وللجدران الساندة ويتضمن معطيات بشأن تقنيات تحسين التربة.

15.1 الأساسات السطحية

15.1.1 متطلبات عامة

تتضمن مشاكل التصميم للأساسات السطحية ما يلي (انظر بولوس وآخرون، 2001):

- تقدير قدرة التحميل المطلقة مع الأخذ في الاعتبار آثار التحميل الرأسي والأفقي واللحظي.
- تقدير حالات الهبوط الإجمالية والمتفاوتة بما في ذلك التبعية الزمنية لحالات الهبوط.
- تقدير حالات هبوط الأساس أو الارتفاع بسبب التغير في الرطوبة مع الأخذ في الاعتبار ظروف التربة الخاصة بهذا الموقع.
- التصميم الإنشائي لعناصر الأساسات بما يلبي متطلبات المشروع.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

15.1.2 عمق تبييت الأنابيب

عادةً ما يكون عمق تبييت الأنابيب للأساسات السطحية أقل من عرض وحدة الأساس أو من أقل بُعد جانبي لها. تتضمن أنواع الأساسات السطحية الشائعة القواعد الخرسانية الشريطية للجدران، والقواعد الخرسانية المفروشة (البطانة) للأعمدة المنفصلة، والقواعد الخرسانية المدمجة للأحمال الداعمة من وحدة إنشائية واحدة وأساسات الحصيرة للعديد من الإنشاءات أو الحالات الخاصة (كالمناطق التي تكون فيها التربة منتفخة أو التي تكون فيها التربة متقلبة).

يحدد كود البناء السعودي الحد الأدنى لعمق القواعد الخرسانية كما يلي:

- 1.2 متر للتربة غير المتماسكة
- 1.5 متر للتربة الطينية والطمي
- 0.6 إلى 1.2 متر للصخور بناء على مدى قوة التشكيل الصخري وسلامته.

علاوة على ذلك فإنه إذا كانت التربة التحتية معرضة للحركة أو للتحول، فيُنصح بتحديد أعماق تحمل أكبر.

15.1.3 قدرة تحمل الأساسات السطحية

15.1.3.1 متطلبات عامة

يُراعى تقييم قوة التحمل لتحديد مدى قدرة التربة والصخور على حمل الأحمال المفروضة دون التعرض لقصور في الحمل أو لهبوط مفرط. قدرة التحمل والهبوط هما أمران مترابطان وهما بمثابة أحد وظائف أبعاد عنصر الأساس، وخاصة أقل بُعد جانبي، بمعنى عرض وعمق تبييت الأنابيب. تزيد قدرة التحمل بزيادة عرض التربة الحبيبية، إلا أن هذه الزيادة في قدرة التحمل تكون محدودة باحتمال حدوث هبوط للتربة التحتية بما أن عمق تأثير الأساسات الأعرض يكون أكبر. يتضمن التصميم الجيوتقني الوصول إلى قدرة تحمل آمنة لعنصر الأساس مما يضع حدًّا أيضًا لحالات الهبوط الإجمالية والمتفاوتة ليصبح بقيم مقبولة - تكون النتيجة هي قيمة قدرة التحمل المسموح بها.

15.1.3.2 التصميم التقليدي

يتضمن التصميم التقليدي (المستند على عنصر السلامة) للأساسات السطحية ما يلي (انظر سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي، 1992).

- تقييم قدرة التحمل النهائية باستخدام الطرق المقبولة لتصميم الإجهاد المسموح به
- اختيار عنصر سلامة معقول بناء على المعلومات المتوفرة عن السطح وأهمية الهيكل والخبرة السابقة وما إلى ذلك.
- تقييم قدرة التحمل المسموح بها عن طريق قسمة قدرة التحمل المطلقة على عنصر السلامة المُختار.
- إجراء تحليل هبوط وتعديل قدرة التحمل بحيث تصبح حالات الهبوط ضمن الحدود المسموح بها.

15.1.3.3 التصميم وفقًا لعنصر الحمل والمقاومة

في التصميم وفقًا لعنصر الحمل والمقاومة، يتضمن نهج التصميم ما يلي:

- تقييم قدرة التحمل المطلقة باستخدام الطرق المقبولة للتصميم بحالات الحدود
- عادة يقع اختيار عناصر المقاومة (أقل من الوحدة)، الذي يرد بشكل أكواد ومواصفات بناء، على بيانات إحصائية أساسية تجمع بين المهارة والخبرة السابقة.
- حساب الحالة الحدية (القوة) المطلقة (مقاومة جيوتقنية مجزأة في الحالة الحدية المطلقة، ULS) بضرب القدرة المطلقة في عنصر المقاومة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- تقييم الحالة الحدية (الخدمة) لقابلية الاستخدام (التفاعل الجيوتقني عند الحالة الحدية لقابلية الاستخدام، SLS) بالقيمة التي ستضع حدًا للهبوط ضمن الحركات المقبولة لمشروع بعينه.
- اختيار قيمة التصميم وفقًا لعنصر الحِمل والمقاومة (الحالات الحدية) بحيث تكون الأقل بين الحالتين الحديتين (وهما القوة والخدمة).
- تقسيم الأساسات بشكل نسبي حتى لا تكون قيمة الحالة الحدية المختارة أقل من تأثيرات الأحمال المجزأة إلى عوامل (عوامل الحمل محددة بأكواد بناءً على مستوى الأداء المطلوب).

هناك العديد من المستندات والإرشادات المرجعية المتعلقة بقدرة التحمل وتحليل الهبوط للأساسات السطحية والعميقة، منها الفصل 5 من قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1982)، والفصلين 4 و5 من قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1986)، وسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (1990)، وسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (1992)، والدليل الإرشادي للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002ب).

15.1.3.4 تحليل قدرة التحمل

عادةً يُرمز لقدرة التحمل المطلقة لأي أساس بالرمز q_u (الضغط المطلق لقدرة التحمل). توجد عدة وسائل (افتراض مسارات الفشل) لتقييم q_u، سنسردها فيما يلي وفقًا للمراجع المذكورة أعلاه.

وسائل تحليل قدرة التحمل تتضمن:

- طريقة التبطين المنزلق
- طريقة التوازن الحدي
- طريقة التحليل الحدي
- الطريقة العددية (عنصر محدد، الفوارق المحدودة)

عادةً تعتمد تحليلات قدرة التحمل على وسائل التوازن الحدي. يُقبل اعتماد تحليل قدرة التحمل المستند إلى أساليب مايرهوف وهانسن وفيسيك من أجل التصميم الروتيني للأساسات (Bowles, 1996). تتضمن وضعيات الفشل المتعلقة بتحليل قدرة التحمل القص العام والقص المحلي والقص بالثقب (انظر الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة، 2002ب).

يضع تحليل قدرة التحمل لأي موقف في الاعتبار المتغيرات التالية حسب الاقتضاء:

- شكل الأساس (شريطي، مستطيل، مربع، دائري)
- عمق تبييت الأنابيب
- موقع مستوى المياه الجوفية
- سطح الأرض المنحدر أو بالقرب من حافة الانحدار
- ميل و/أو انحراف الحِمل
- تربة غير متجانسة (ذات طبقات).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

بالنسبة للمشاكل المعقدة بما في ذلك التربة ذات الطبقات، يمكن استخدام طرق تقريبية للحصول على حلول (على سبيل المثال، انظر نظام اقتناء الدفاع، 1999، سولان ويو، 1996). بالنسبة لمشاكل قدرة التحمل المعقدة وحلول تفاعل بنية الأساس / التربة، يمكن استخدام برامج الكمبيوتر لإيجاد حلول عددية (على سبيل المثال، عنصر محدو ، فارق محدود).

15.1.3.5 قدرة تحمل التربة للأساسات السطحية

يمكن معرفة قدرة تحمل التربة للأساسات السطحية من:

- معادلات قدرة التحمل المستندة على التحليل النظري.
- الارتباطات التجريبية القائمة على الاختبارات في الموقع (الميدان).
- قيم التحمل الافتراضية التي تحدد عادةً بأكواد محلية.
- التحليلات النظرية لقدرة تحمل التربة للأساسات (معادلة قدرة التحمل) ترد في الفصل 4 من قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1986)، والفصل 8 من الدليل الإرشادي للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002أ)، والعديد من الكتب المرجعية الأخرى. يوصى بأن تراعي تقييمات قدرة التحمل تأثيرات نوع التربة وطبقاتها وانحراف الحمل وعمق المياه الجوفية والتغيرات المحتملة في عمق المياه الجوفية وسطح الأرض المنحدر وقوى الرفع. كما يُراعى أيضًا الغمر المحتمل لتربة الأساس وإزالة الأحمال الزائدة الموجودة عن طريق التنظيف أو الحفر، وحل التربة بالماء، واحتمالية الانهيار، والارتشاح من مواسير الصرف، وتسرب المياه من الأغطية. يوصى باستخدام طريقة تحليل قدرة التحمل بشكل شائع في ممارسات الهندسة الجيوتقنية أو بناء على حكم هندسي سليم ووفقًا لموافقة الكيان.

يمكن تقييم قدرة التحمل باستخدام البيانات الناتجة عن الاختبارات الميدانية مثل اختبار الاختراق القياسي واختبار الاختراق المخروطي واختبار حمل اللوح. تربط مخططات التصميم التجريبية ضغط المحمل المسموح به للأساسات السطحية على الرمل بقيم اختبار الاختراق القياسي العددية، وتعتمد هذه العلاقات على وضع حد لهبوط وحدة الأساس، والذي يكون عادةً 25 ملم (انظر بيك وآخرون، 1974). لأساسات الحصيرة الكبيرة، يشير نفس المرجع إلى أنه يمكن زيادة إجمالي حد الهبوط إلى 50 ملم بحيث يكون حد الهبوط المتفاوت 20 ملم تقريبًا. يرد وصف استخدام طريقة اختبار الاختراق المخروطي لتقدير قدرة تحمل التربة في شميرتمان (1970)، ولون وآخرون (1997). يمكن تقدير قدرة تحمل التربة أيضًا باستخدام النتائج الناتجة عن اختبارات حمل اللوح بشرط أن تكون التربة ضمن منطقة التأثير للقاعدة الخرسانية مشابهة لتلك التي تأثرت باختبار حمل اللوح.

يوفر كود البناء السعودي الضغوط الداعمة للحِمل المفترضة للتربة في حالة عدم وجود تصميم خاص بالموقع للقواعد الخرسانية.

يسرد كود البناء السعودي الحد الأدنى من متطلبات تصميم الأساسات السطحية. يُرجى الرجوع إلى الأقسام التي تتعامل مع:

- القواعد الخرسانية المنفصلة
- جدران الأساسات
- الحصائر والقواعد المدمجة.

يحدد كود البناء السعودي أدنى عناصر السلامة مقابل قصور 3 كراسي تحميل للهياكل الدائمة ز2 للهياكل المؤقتة.

ترد مجموعات دمج الأحمال في كود البناء السعودي لتصميم المقاومة المسموح به وتصميم عامل الحمل والمقاومة والأحمال الزلزالية.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

بالنسبة لأنواع التربة الإشكالية السائدة في المملكة العربية السعودية (التربة الممتدة، والتربة القابلة للانهيار، وتربة السبخة)، يجب تصميم القواعد الخرسانية وفقًا لأحكام اتفاقية كود البناء السعودي. يوصى بتصميم القواعد الخرسانية التي خضعت لأحمال اهتزازية وفقًا لنصوص وأحكام كود البناء السعودي. ويوصى بتصميم أساسات الهياكل غير المتعلقة بالمباني وفقًا لإرشادات الإدارة الاتحادية للطرق السريعة والجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل. ويُراعى في تصميمات الأساسات أن تتبع كل معايير التصميم الملائمة وأن تخضع لموافقة الجهة العامة.

15.1.3.6 قدرة تحمل الصخور للأساسات السطحية

يجب أن يراعي تصميم الأساسات على الصخور الآثار المحتملة للظروف غير المواتية للصخور والتي تتضمن المناطق المعرضة لعوامل جوية والوصلات والعيوب الأخرى. قد تؤدي هذه الانقطاعات إلى دمج مفرط في منطقة الضعف، أو الفشل على طول مستويات الضعف الموجهة غير المواتية.

وفيما يتعلق بالأساسات على الصخور، ينبغي أن يصف تقرير التصميم الجيوتقني كلًا من الصخور السليمة وظروف الكتلة الصخرية. عادةً ما تتكون الكتلة الصخرية من كتل صخرية سليمة مفصولة بفواصل مثل الوصلات وطبقات التكسية والطيات والمناطق المنفصمة والصدوع. قد تتراوح حالة الصخور من كونها على حالتها الأصلية وغير متغيرة إلى صخور معرضة للعوامل الجوية أو المتحللة. عند تحديد قدرة التحمل للأساسات القائمة على كتلة صخرية، يُراعي مهندس التخصص الرئيسي استقرار الصخور المترابطة والصخور المتحللة والصخور غير المترابطة أفقيًا وكتل الصخور ذات التجاويف المعدنية. بوجه عام، تكون الأوضاع الفاشلة المعتادة داخل الكتل الصخرية كما يلي:

- فشل قدرة التحمل داخل الصخر الزيتي الضعيف أو الصخور شديدة التحلل
- فشل الدمج داخل الصخور المتأثرة بالعوامل الجوية أو المناطق المعرضة للعوامل الجوية (أفقيًا أو رأسيًا أو تحت القشرة)
- فشل الثقب حين يكون هناك صخر مسامي أوضعيف.
- فشل المنحدرات الصخرية في حالة الأساسات المجاورة للمنحدرات
- هبوط أو انهيار بسبب الفراغات الكامنة من صنع الإنسان أو الطبيعية مثل الكهوف المعدنية.

ترد بعض الإرشادات حول تقييم ضغط التحمل على الصخور في الفصل 22 من بيك وآخرون (1974)، والفضل 6 من USACE (1994). تسترشد هذه الإرشادات بتعيين جودة الصخور وتصنيف الكتلة الصخرية (5878RMR - ASTM D) لتقييم إمكانية ضغط الكتلة الصخرية ومدى قوتها.

15.1.4 هبوط الأساسات السطحية

15.1.4.1 متطلبات عامة

إن التنبؤ بحدوث هبوط في الهيكل من الأمور الحاسمة في تصميم الأساسات، خاصة الأساسات السطحية. ويوصى دائمًا بأن يُراعي في تقييمات الهبوط كلًا من الهبوط الكلي والهبوط المتفاوت.

فيما يتعلق بالأساسات السطحية. عادة ما يحكم الهبوط (مقابل قدرة التحمل) أداء عنصر الأساس. عند تقييم هبوط الأساسات السطحية، من الضروري مراعاة البنود الثلاث التالية (هولتز، 1991):

- الوسائل المتاحة لتحليل الهبوط لأي تصميم أساس محدد.
- التحركات المقبولة (حالات الهبوط)

من الخيارات الإصلاحية المتاحة في حال تجاوزت حالات الهبوط التقديرية حالات الهبوط المقبولة والمسموح بها.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

15.1.4.2 أسباب الهبوط

من الأهمية بمكان مراعاة أسباب الهبوط بشكل معتاد:

- التحميل الهيكلي (المطبق)
- تحميل الجسر
- الدمج / الضغط بسبب انخفاض مستوى المياه الجوفية
- الهبوط بسبب الاهتزازات (الزلازل/ الآلات).

إذا تضمن التصميم مجموعات من الأساس، فيُراعي تقييم تحليل الهبوط لإمكانية التداخل بين خطوط الإجهاد.

15.1.4.3 أسباب الهبوط

هناك ثلاث أسباب بوجه عام للهبوط الكلي يمكن اختبارها عن طريق عنصر الأساس.

- الهبوط الفوري - وهو الهبوط الذي يحدث بسبب الانخفاض شبه المرن لتربة الأساس الذي ينتج عن الأحمال المُطبّقة عادة ما يكون سبب الهبوط أكثر وضوحًا نسبيًا في أنواع التربة غير المتماسكة والتربة الصلبة المتماسكة. ستُستخدم الوسائل التجريبية وشبه التجريبية والنظرية المرنة لحساب التسوية الفورية. لمزيد من الإجراءات التفصيلية، يُرجى الرجوع إلى USACE (1990) وهولتز (1991).
- هبوط الدمج الأساسي - هو الهبوط الذي يحدث للتربة المتماسكة بسبب تبديد ضغط المياه المسامية الزائدة الذي يسببه الحِمل. يتحكم المعدل الذي يمكن به طرد المياه من المساحات الفارغة في التربة في المعدل الزمني لهبوط الدمج. وتتوافر العديد من المصاد المرجعية الخاصة بحساب هبوط الدمج الأساسي وهي تتضمن: سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (1990)، وهولتز (1991)، وقيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1982)، الدليل الإرشادي للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2002ب)، ونظام اقتناء الدفاع (1990).
- هبوط أو زحف الدمج الثانوي - الهبوط الذي يحدثتدريجيًا وبمعدل إجهاد فعّال ثابت بعد اكتمال هبوط الدمج الأساسي يتعلق الهبوط الثانوي بالتعديل الذي يحدث ببطء في ترتيب الجزيئات تحت الأحمال المستمرة (الزحف). عادةً ما يكون الضغط الثانوي مقتصرًا على أنواع معينة من الطين والطمي والتربة العضوية.

ونلاحظ أنه بالنسبة لمعظم الهياكل المحملة بشكل كبير، ستكون حالات الهبوط مفرطة إذا وُضعت على تربة أخرى غير الرمل / الحصى ذات الكثافة المتوسطة أو الكثيفة أو التربة الصلبة / الطين الصلب، حتى لو كان تحليل قدرة التحمل يقدم عامل أمان مناسب ضد فشل المحمل. بالنسبة لهذه الهياكل المحملة بشكل كبير على التربة الكثيفة أو الصلبة، سيقدم تحليل الهبوط المرن عادة تقديرًا معقولًا للهبوط. مع هذه الأنواع من التربة لن يشكل هبوط الدمج عادةً مشكلة.

وبالنسبة للتربة المتماسكة المعرضة للدمج الأساسي، يشكل كلًا من حجم الهبوط ومعدل الهبوط أسبابًا تحمل نفس القدر من الأهمية لتحليل الهبوط. أما بالنسبة للتربة ذات الحبيبات الخشنة الرخوة، مثل الرمال، ينتج ضغط هيكل التربة عن إعادة ترتيب جزيئات التربة والتي تحدث بشكل عام فور تطبيق الحمل. كما قد يؤدي التحميل الاهتزازي أو الديناميكي أيضًا إلى حالات هبوط واضحة في التربة الحبيبية.

وقد يحدث الهبوط أيضًا بسبب انهيار التربة المحتمل أوحلّها بالماء أوارتفاعها أو كنتيجة لأعمال الزلازل. من الصعب تقدير الهبوط الذي ينشأ بسبب هذه التأثيرات، ولكن يمكننا فقط أن نحدد الحساسية العامة لنوع معين من التربة لحالات الهبوط التي تسببها هذه الآثار. عندما يتم توقع آليات الهبوط المذكورة أعلاه، يجب إجراء الاختبار والتقييم المناسب لتقييم مدى حساسية تربة الموقع لهذه التأثيرات.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

15.1.4.4 خطوات تحليل الهبوط

لمعرفة إجراءات التنبؤ بهبوط الأساسات السطحية، يُرجى الرجوع إلى الفصل 5 من قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1982)، أو الفصل 3 من سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (1990). يجب أن تعتمد الجهة العامة الطريقة المستخدمة لحساب الهبوط في بعض الحالات قد يتطلب الأمر تحليلات أكثر صرامة للهبوط بما في ذلك الوسائل الحاسوبية القائمة على العناصر المحدودة

يُراعى أن تكون حالات الهبوط ضمن الحدود المقبولة لتلبية متطلبات قابلية استخدام الهيكل، على النحو المنصوص عليه في أهداف المشروع (يُرجى الرجوع إلى كود البناء السعودي).

تتضمن الخطوات الرئيسية لتحليل الهبوط (المُعدلة عن هولتز، 1991):

- إنشاء ملف تعريفي للتربة، بما في ذلك موقع منسوب المياه الجوفية، وتحديد الطبقات القابلة للضغط.
- إنشاء ملفات تعريفية للإجهاد الكلي والفعّال بعمق.
- الحصول على أو تقدير حجم الحمل (الأحمال) المطبقة، وتقدير التغيير في الضغط الناتج مع العمق (باستخدام مناهج توزيع الإجهاد كما ترد في بولوس وديفز (1980)).
- تقرير ما إذا كانت التربة مدمجة بصورة طبيعية أوبشكل مفرط.
- حساب الهبوط الكلي بناءً على أسباب الهبوط ذات الصلة.
- مقارنة الهبوط المقدّر بالهبوط المقبول للمشروع.
- إذا تجاوز الهبوط المحسوب الهبوط المسموح به، فهناك عدة بدائل متاحة مثل حالات الهبوط العميق (يُرجى الرجوع للقسم الفرعي التالي)، وتغيير حجم عناصر الأساس أو تحسين التربة تحت السطحية (يُرجى الرجوع إلى القسم 15-4)

15.1.5 النماذج الحاسوبية

تتوافر العديد من البرامج التجارية القائمة على العناصر المحددة والفوارق المحددة لقدرة التحمل وتحليلات الهبوط. ومن أكثر البرامج أوحزم البرمجيات التجارية لقدرة التحمل والهبوط شيوعًا (الأساسات السطحية والعميقة): FLAC، وPLAXIS، وSIGMA/W، و5GEO، وLPILE. يوصى بأن تحصل برامج الحاسوب المختارة لأي مشروع محدد على موافقة الجهة العامة بما في ذلك نماذج التربة التأسيسية المقترحة

15.2 الأساسات العميقة

حين تكون ظروف التربة القريبة من القاعدة غير مناسبة للأساسات السطحية، يمكن اللجوء إلى الأساسات العميقة لنقل الأحمال المفروضة إلى طبقات أعمق وأكثر كفاءة. تستمد الأساسات العميقة (الركائز والدعامات والأعمدة) مقاومتها للتحميل من قاعدتها (المحمل النهائي) و/أو احتكاك السطح الذي يحدث على طول عمودها. يكون عمق عنصر الأساس أكبر كثيرًا من البعد الجانبي الأقل (العرض)، إلا في بعض الحالات في حالة وضع أساسات حصيرة كبيرة جدًا مدعومة بالركيزة. لمعرفة طرق المعالجة التفصيلية لنوع وتصميم الأساس، يُرجى الرجوع إلى قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1986)، وباولز (1996). لمعرفة إجراءات التصميم والإنشاء، يُرجى الرجوع إلى أونيل وريسي (1990).

15.2.1 أنواع الركائز

فيما يلي نسرد أكثر أنواع الأساسات العميقة شيوعًا بالمملكة العربية السعودية والتي تتضمن ما يلي (يُرجى الرجوع إلى كود البناء السعودي):

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الركائز المثبّتة

- خرسانة مسبقة الصب
- الخرسانة مسبقة الإجهاد

ركائز خرسانية مصبوبة في المكان (مع أوبدون قاعدة موسّعة)

- الأعمدة المحفورة
- الركائز المصبوبة بالمثقاب (المثقاب مستمر الحركة)

وبالنسبة لأعمال البناء المؤقتة، يمكن استخدام الركائز الفولاذية إذا تم تنفيذ التدابير المناسبة للحماية من التآكل.

15.2.2 اعتبارات التصميم

يُراعى تصميم الأساسات العميقة بما يتماشى مع أحكام كود البناء السعودي كالتالي:

- المتطلبات العامة للأساسات بالركائز والدعامات.
- أساسات الركيزة المثبتة
- أساسات الركائز الخرسانية المصبوبة في المكان
- أساسات الدعامات

ومن المشاكل الرئيسية في التصميم التي يوصى بتناولها في تقرير التصميم الجيوتقني (يُرجى الرجوع إلى بولوس وآخرون، 2001):

- اختيار نوع الركيزة وطريقة التثبيت.
- تقدير حجم الركيزة المطلوب لتوفير هامش أمان مناسب ضد فشل كل من التربة الداعمة والركيزة نفسها (أثناء الضغط والشد)
- تقدير هبوط أساس الهياكل غير المزودة بركائز التي تجاور تلك المزودة بركائز. وسيكون هذا هو الهبوط المتفاوت بين وحدات الأساس المجاورة المدعومة بركائز وغير المدعومة بركائز.
- مراعاة تأثيرات التحميل الجانبي وتصميم الركائز لتوفير هامش أمان كافٍ ضد الانهيار الجانبي للتربة و/أو فشل الركيزة في الانحناء، والانحراف الجانبي المقبول للركيزة. يمكن اعتبار هذا الانحراف الجانبي المقبول بمثابة انحراف ناتج عن نصف الحمل الجانبي الذي يتسبب في انحراف 25 مم (كود البناء الدولي "IBC").
- النظر في حركات الأرض التي قد تحدث لأسباب خارجية (مثل هبوط التربة وانتفاخها).
- تقييم أداء الركيزة بناءً على اختبارات تحميل الركائز (ثابتة وديناميكية)، وتفسير هذه الاختبارات لتقييم المعايير التي يمكن استخدامها للتنبؤ بشكل أكثر دقة بأداء أساس الركيزة.
- يعتمد اختيار نوع الأساس العميق على النظر في أنواع وأحجام الأحمال المراد دعمها، والعمق المطلوب لتحقيق السعة المطلوبة، وطبيعة المواد الجوفية التي سيتم اختراقها، والحياة المرغوبة للأساس، والخبرة المحلية مع طرق البناء المختلفة. تقدم الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (ACSE) (1993) المعلومات وإجراءات استكشاف الأساسات واختبارها وطرق اختبار الحمل والتقنيات التحليلية ومعايير وإجراءات التصميم واعتبارات البناء لاختيار الأساسات وتصميمها وتركيبها. عند تصميم الركائز، يجب مراعاة العمل الجماعي للركائز فيما يتعلق بتفاعل الركيزة والتحميل الجانبي والهبوط.

15.2.3 القدرة المحورية

عادةً ما يكون التنبؤ بالقدرة المحورية للأساسات العميقة (مثل الركائز المثبتة والأعمدة المحفورة) أمرًا تجريبيًا. في معظم الحالات، تؤثر طريقة التثبيت على سلوك الأداء للأساسات العميقة. تعتمد قدرة الركيزة أيضًا على ما إذا كانت هذه الركيزة عبارة عن ركيزة إزاحة (على سبيل المثال، ركيزة

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

خرسانية مسبقة الصب حيث يتم إزاحة قدر كبير من التربة أثناء تركيب الركيزة) أو ركيزة غير قابلة للإزاحة (على سبيل المثال، ركيزة فولاذية من القسم H حيث تتم إزاحة الحد الأدنى من التربة أثناء تركيب الركائز). في التربة، تكون مقاوم الاحتكاك السطحية وقدرة التحمل النهائية للإزاحة أعلى وأكبر

تتكون القدرة المحورية للأساسات العميقة عادةً من عنصرين: قدرة الوحدة كمكوّن إنشائي في الضغط والشد والانحناء والالتواء والقدرة الداعمة للخامة تحت السطح. يوصى بأن يعتمد تصميم الأساسات العميقة على قدرة وسيط التربة الذي ستتأسس فيه، إلا إذا وُجدت قاعدة أساسية سليمة وذات كفاءة.

كما يُوصى بتقييم إمكانات الركيزة لكل من (أ) الركيزة الفردية و(ب) مجموعة الركائز/باستخدام عناصر الكفاءة للمجموعة عادةً، التي تُحسب بنسبة قدرة المجموعة إلى مجموع قدرات الركيزة الفردية. تعتمد كفاءة المجموعة على تباعد الركيزة وحجمها وأيضًا على سلوك التربة تحت السطح.

إن القدرة الاستاتيكية المحورية النهائية للأساسات العميقة هي مجموع قدرة العمود القصوى (مقاومة القشرة الخارجية) والقدرة الأساسية النهائية (مقاومة المحمل النهائي). نحصل على القدرة المسموح بها للركيزة عن طريق قسمة القدرة النهائية المتوقعة على عامل أمان مناسب، عادةً يكون 2 لقدرة العمود و 3 للقدرة الأساسية. يُراعى عند تحليل قدرة الركائز الثابتة المحورية نوع التربة، وأحمال السحب (احتكاك القشرة الخارجية السلبي)، وتأثيرات مجموعة الركائز، وهبوط مجموعة الركائز، وأحمال الرفع.

15.2.3.1 تقنيات الحل بالمياه

ترد وسائل تحليل الركيزة الاستاتيكية العامة بشكل مفصل في دليل تصميم قيادة أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1986) وباولز (1996). كما يصف لوني وآخرون (1997) وسائل التنبؤ بقدرة الركيزة باستخدام بيانات اختبار الاختراق المخروطي. قدم بولوس (2001) مناقشات بشأن بعض الأساليب الأكثر حداثة التي تُستخدم في تقدير قدرة الركيزة المحورية الثابتة. كما يقدم أونيل وريسي (1999) معالجة تفصيلية لتصميم وإنشاء الأعمدة المحفورة.

كما يمكن الاطلاع على معالجة تفصيلية لقدرات الركائز في ريسي وآخرون (2005)، FHWA (2006ب)، تومليسون وودوارد (2008)، فيلينيوس (2017)، مايرهوف (1976)، هانت (1986). يُراعى أن يمتثل تحليل القدرة لمتطلبات كود البناء السعودي. وبالنسبة لنهج التصميم بحسب عنصر الحمل والمقاومة، يُراعى أن يمتثل تحليل القدرة لمتطلبات دليل الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة (AASHTO).

عادةً، يقوم تقييم قدرة الحمل للتربة على أساس:

- اختبارات الاختراق القياسية SPTs
- اختبارات الاختراق المخروطية CPTs
- اختبارات القوة المختبرية (التربة المتماسكة بشكل أساسي)
- تحليل المعادلات الموجية.

15.2.3.2 القدرة المحورية للركائز في التربة (الطينية) المتماسكة

تستمد الركائز المثبتة في التربة المتماسكة قدراتها المحورية بشكل أساسي من مقاومة احتكاك العمود أو القشرة الخارجية، مع قدرة تحمل نهائية محدودة بوجه عام. يمكن حساب قدرة الركائز المنشأة في التربة المتماسكة باستخدام نهج الإجهاد الكلي (بناءً على قوة القصّ غير المجففة، والمعروفة أيضًا باسم طريقة ألفا) أو نهج الإجهاد الفعّال (المعروفة أيضًا باسم طريقة بيتا). يُراعى النظر في إجراءات تركيب الركائز واستجابة التربة المتماسكة الناتجة عن ذلك عند تقرير معايير التصميم، لا سيما احتكاك القشرة الخارجية ومقاومة المحمل الطرفي.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

بالنسبة للركائز المثبتة في أو عبر ترسبات متماسكة خضعت للدمج أو لخسارة في الحجم، فيوصى بمراعاة احتكاك القشرة الخارجية السلبي وحِمل السحب الناتج عند حساب قدرة الركيزة (فيلينيوس، 2017) وتحديد متطلبات اختبار الحِمل.

15.2.3.3 القدرة المحورية للركائز في الخامات الحبيبية

يمكن حساب القدرة المحورية للركائز المثبتة في التربة الحبيبية عن طريق مقاومة العمود مع مكوّن حمل طرفي واضح عادةً. ستغير إجراءات تركيب الركيزة حتمًا من كثافة وقوة التربة الحبيبية.

15.2.3.4 القدرة المحورية الناشئة عن حدوث مقاومة

يمكن تقدير قدرة الركائز الثابتة (الفردية) عبر تحليل ديناميكي باستخدام البيانات المسجلة أثناء وضع الركيزة في أرض الموقع. وقد وُضعت العديد من صيغ وتراكيب تثبيت الركائز إلا أن معظمها يتنبأ بقدرة الركيزة بشكل سيء وهي خاصة بكل موقع (تربة) على حدة. ويعد تحليل المعادلة الموجية الأداة الأفضل لحساب قدرة الركائز الثابتة ويمكن استخدامها لتقييم إمكانية تثبيت الركيزة وأيضًا لاختيار المطرقة المناسبة. تطبق طريقة المعادلة الموجية نظرية الانتقال الموجي لحساب القدرة الناتجة عن الركيزة وأقصى قدر ينشأ من الإجهاد داخل الركيزة أثناء عملية تثبيت الركيزة. يمكن إجراء تحليلات المعادلة الموجية باستخدام برنامج GRLWEAP من شركة Pile Dynamics, Inc.

15.2.4 القدرة الجانبية

يعتبر التفاعل بين الركيزة والتربة المُعرضة للتحميل الجانبي وظيفة معقدة لخصائص الاستجابة غير الخطية للتربة والاستجابة الخطية النموذجية لمواد الركيزة. يمكن الاطلاع على معالجة تفصيلية للنظرية ولوسائل تصميم الركائز المحملة جانبيًا في ريسي وفان ايمبي (2011). قد يتطلب تحليل الركائز المحملة جانبياً ومجموعات الركائز برامج حاسوب تستند إلى عناصر محدودة أو فروق محدودة مثل LPILE الذي يستخدم منحنيات p-y (الحمل الجانبي غير الخطي مقابل منحنيات الانحراف) لكل تربة لتقدير الانحرافات والضغوط مقابل العمق في الركيزة.

15.2.5 قدرة الركائز من اختبارات الحِمل

تعد اختبارات الحمل الاستاتيكي للأساسات العميقة أكثر الوسائل دقة لتوصيف قدرة الحِمل. عادةً تُجرى اختبارات الحِمل الاستاتيكي على ركائز الاختبارات المثبتة خلال مرحلة التصميم للتحقق من القدرات التي يتم التنبؤ بها وتقديم بيانات لمقاول تثبيت الركائز. كما تُجرى الاختبارات على الركائز لتكون بمثابة فحص (أو اختبارات إثبات) لركائز الإنتاج التي قام المقاول بتثبيتها للتحقق من قدرة الحمل. عادةً ما تُجرى اختبارات ركائز الإنتاج هذه عندما تتغير خصائص تثبيت ركائز الإنتاج عن تلك الخاصة بركائز الاختبار أو حين يستعين المقاول بمطرقة مختلفة لتثبيت الركيزة. يُوصى بتنفيذ اختبارات الحِمل المحوري الضاغطة على الركائز وفقًا لمعيار الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد ASTM D1143K، كما يُوصى بتنفيذ اختبارات الحِمل المحوري للتوتر الاستاتيكي للركائز وفقًا لمعيار الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد ASTM D 3689، وتنفذ اختبارات الحِمل الجانبي الاستاتيكي للركائز وفقًا لمعيار الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد ASTM D 3966.

يمكن تقييم قدرة الركائز الاستاتيكية للركائز المثبتة باستخدام اختبار الحِمل الإحصائي وهي الوسيلة الأسرع والأوفر من اختبار الحِمل الاستاتيكي. يمكن الاطلاع على بعض الإرشادات حول اختبار حِمل الركائز السريع في معيار الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد ASTM D 7383. أصبح اختبار الحِمل الديناميكي عالي الإجهاد (التحليل الديناميكي للركيزة أو المساعد الرقمي الشخصي) وفقًا لمعيار الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد ASTM D 4945 سائدًا بصورة كبيرة، إما بالاقتران مع اختبار الحِمل الاستاتيكي أو كبديل له.

عند اختبار الركائز الثابتة في التربة الطينية في الغالب، من المهم التعرف على التأثير المحتمل لتجمد التربة على القدرة التي يتم قياسها. بعد تثبيت الركائز، يُبدد الضغط الفائض للمياه المسامية المتراكم في التربة أثناء عملية التثبيت (ما يستغرق عدة ساعات إلى عدة أيام)، مما يزيد بالتالي من مكون قدرة مقاومة القشرة الخارجية (التجمد). يصبح هذا التجمد دائمًا (إلا إذا أعيد تثبيت الركيزة) ويمكن استخدامه في حساب قدرة الركيزة. ستكون القدرة

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

الناتجة من اختبار الحِمل أكبر من تلك المُقدّرة باستخدام طريقة حساب عدد الضربات على الركيزة والمعادلة الموجية حيث أن عدد الضربات يعكس الضغط العالي للمياه المسامية أثناء التثبيت.

15.2.6 اختبارات ضمان الجودة والسلامة

يوصى بإجراء اختبارات غير إتلافية من أجل فحوصات ضمان الجودة والسلامة للركائز ولا سيما أساسات الأعمدة المحفورة للكشف عن أي شذوذ. وتتضمن الأمثلة على تقنيات الاختبارات غير الإتلافية سونيك إيكو (SE)، الاستجابة للنبضات (IR)، ألترا سونيك (US)، وكروس هولد سونيكلوغينغ (CSL)، وغاما غاما لتسجيل الكثافة (GDL).

15.3 الجدران الساندة

15.3.1 متطلبات عامة

تقدم الجدران الساندة (الهياكل الساندة) دعمًا جانبيًا للتربة أو الصخور. قد تكون أنظمة المحافظة على الأرض قصيرة الأجل (مثل دعم عمليات الحفر) أو طويلة الأجل (الجدران الساندة الدائمة) وفي أعمال الإنشاءات المؤقتة، قد تُستخدم العناصر الفولاذية (الركائز الصفيحية، عناصر التعزيزيات الفولاذية، مسامير التربة الفولاذية، وغيرها) إذا ما اتخذت التدابير المناسبة للحماية من التآكل. وقد تكون هذه الأنظمة مستقرة داخليًا أو خارجيًا. في الحوائط الدائمة، يجب تجنب استخدام الفولاذ حيثما أمكن. وتتضمن أنواع الجدران الساندة الدائمة ما يلي (مُعدّلة من أورورك وجونز، 1990).

15.3.1.1 الأنظمة المستقرة خارجيًا

- الجدران في الموقع (الناتئة أو المدعمة أو المقيدة للخلف)
- الركيزة الصفيحية (خرسانة)
- الركائز الاستنادية ذات الدعائم (خرسانة مع عوارض خشبية)
- مصبوب في الموقع (طينية، قاطعة، تماسية)
- إسمنت التربة

15.3.1.2 جدران الجاذبية

- هائلة
- جسر مشدود بكابلات.
- الأكتاف والدعائم
- الحاجز الحجري
- حوائط الإعاشة
- سلة النفايات
- سد احتراري مؤقت خلوي

15.3.1.3 الأنظمة المستقرة داخليًا

أنواع التربة المعززة

- الألياف الزجاجية
- حديد التسليح الجيوصناعية (الشبكات الأرضية والتكسية الأرضية)
- الخلايا الأرضية

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

حديد تسليح في الموقع

- الركائز الدقيقة الشبكية

الأنظمة الهجينة

- الجدران الساندة المقطعية المسلحة (خرسانة البناء) متضمنة الجدران المستقرة ميكانيكيًا

15.3.2 اعتبارات التصميم

15.3.2.1 يوصى بأن تتضمن العناصر المعتبرة عند اختيار نوع الهيكل الساند ما يلي (انظر باثورست وجونز، 2001).

- مواصفات التربة والمياه الجوفية
- موقع الجدار الساند المقترح فيما يتعلق بالهياكل الأخرى
- ارتفاع الجدار الساند المقترح وطبوغرافيا الأرض
- القيود المفروضة على التحركات الأرضية أثناء البناء والخدمة
- توفّر المواد
- المتطلبات الشكلية (الجمالية)
- الوقت المتاح للإنشاءات (سرعة الإنشاءات)
- العمر المتوقع للتصميم (المتانة) وعدد مرات تكرار الصيانة
- خبرة ومعرفة مقاول البناء فيما يتعلق بتقنية البناء
- **القضايا البيئية**

يُراعى في تصميم الهياكل الداعمة معايير أداء الحائط واختيار الحائط وطرق البناء (التحضير) والتحركات الأرضية ذات الصلة. يوصى بوجه عام بتصميم الجدران الساندة بحيث تضمن الاستقرار ضد الدوران المفرط أو الانزلاق أو فشل قدرة التحمل أو الهبوط المفرط أو الفشل الشامل. تعتبر التقديرات المناسبة لضغوط الأرض الجانبية (والضغوط الهيدروستاتيكية) خلف الجدار وأمامه بالغة الأهمية للتصميم. بالنسبة للحوائط الأرضية المستقرة ميكانيكيًا (الحوائط الوحدوية) يوصى بإجراء فحوصات إضافية للتصميم مثل فحوصات الاستقرار الداخلي.

يمكن الاطلاع على الوسائل التفصيلية لتحليل الهياكل الداعمة، بما في ذلك الجدران الداعمة التقليدية والجدران المسلحة للتربة في الفصل 3 من أنظمة هندسة المنشآت البحرية (1996)، وباثورست وجونز (2001)، وبولوس وآخرون (2001). كما يمكن الاطلاع على جوانب التصميم والبناء النموذجية للهياكل الاستنادية في داي (1999).

ويمكن الإطلاع على الحد الأدنى من المتطلبات بشأن تصميم وبناء الجدران الساندة في الفصل 7 من كود البناء السعودي الذي يحدد الحد الأدنى المطلوب من عناصر السلامة (5F) للجدران الساندة كما يلي:

- فيما يتعلق بقدرة التحمل: $FS \geq 3$
- ضد الانزلاق $FS \geq 1.5$ (التربة غير المتماسكة)؛ $FS \geq 2.0$ (التربة المتماسكة)
- ضد الانعطاف المفرط: $FS \geq 1.5$
- ضد فشل الدوران (الانزلاق الراسخ) $FS \geq 2.0$.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

15.3.2.2 يُراعى تصميم الجدران وفقًا للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة ونهج تصميم عنصر الحِمل والمقاومة التابع للجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل. يمكن الإطلاع على إرشادات التصميم للحوائط الساندة في إصدارات TEK الفنية للجمعية الوطنية للبناء الخرساني.

15.3.2.3 في حالة استخدام دعامات أو مثبتات من الصلب في الجدران الساندة يُراعى تضمين تدابير الحماية المناسبة من التآكل، بما في ذلك تصميم الخلطة الخرسانية والطلاء المناسب، وما إلى ذلك، ضمن تفاصيل التصميم.

15.3.3 التفاعل بين التربة والهيكل الإنشائي

بالإضافة إلى اعتبارات التصميم المذكورة أعلاه، يُراعى التفاعل بين التربة والهيكل الإنشائي في تصميم الجدران الساندة للتنبؤ بشكل أفضل بأداء الجدار وتجنب أي اتجاهات محافظة متشددة غير ضرورية. تُراعى طبيعة واتجاه الحركة النسبية بين تربة الجدار والردم والقص من الجدار إلى التربة. عادةً تحتشد الاحتكاك بين التربة والجدار بحركات صغيرة جدًا. يوصى بمراعاة التأثيرات التي ستبذلها هذه القوى على سلامة الحائط والأداء الكلي له.

15.4 تقنيات تحسين التربة

15.4.1 متطلبات عامة

15.4.1.1 تُستخدم تقنيات تحسين التربة في:

- تحسين الاستقرار وقدرة التحمل بزيادة الكثافة النسبية و/أو قوة القصّ للتربة.
- التحكم في تشوه التربة بتقليل إمكانية الضغط والإسراع من عملية الدمج.
- تقليل نفاذية التربة لتقليل تدفق المياه
- تحسين تماسك التربة لتقليل الهبوط المتفاوت.

15.4.1.2 تؤثر ظروف التربة بالموقع تأثيرًا ملحوظًا على نجاح تقنيات تحسين التربة. يوصى بالانتهاء من أعمال الاستكشاف الجيوتقنية الكافية للموقع (انظر الجزء ب) لتوصيف الظروف تحت السطحية. يتطلب تقييم مدى ملاءمة تقنية معينة لتحسين التربة لموقع وتطبيق معين مراعاة العوامل التالية (انظر هولتز وآخرون، 2001).

- المعايير التشغيلية للمنشأة: متطلبات الاستقرار، الهبوط الكلي المسموح به ومعدل الهبوط، معايير التسرب والمتانة ومتطلبات الصيانة وما إلى ذلك. ستؤدي هذه العوامل إلى مستوى التحسين المطلوب فيما يتعلق بالقوة والصلابة والتوصيل الهيدروليكي وما إلى ذلك.
- مساحة التربة التي ستخضع للمعالجة أو التحسين وعمقها وإجمالي حجمها.
- أنواع التربة وخصائصها المبدئية والعمق حتى المياه الجوفية
- توافر المواد مثل التراب والحصى والماء والخلائط الإضافية وما إلى ذلك.
- توفر المعدات والمهارات المطلوبة
- الإنشاء: عناصر بيئية مثل إمكانية الوصول إلى الموقع وقيود ذلك، والتخلص من النفايات والتآكل والتلوث المحتمل للمياه وأثر المنشآت والهياكل المجاورة وتأثيرها
- الخبرة والتفضيلات المحلية والاعتبارات الثقافية
- وقت الجاهزية
- التكلفة

15.4.1.3 بمعنى أشمل تتضمن تقنيات تحسين التربة:

تحسين تربة الأساس:

- الردم خفيف الوزن
- الإزالة والاستبدال

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- الدمج
  - الاستقرار المادي والتكثيف (أعمدة حجرية بديلة للاهتزازات، ضغط هزازي، تعويم هزاز، ضغط ديناميكي عميق، خلط عميق للتربة ، وغيرها)
  - نزح المياه والتحكم في المياه الجوفية
  - التحميل المسبق بواسطة الحمل الزائد
  - التحميل المسبق عن طريق التفريغ الهوائي
  - الدمج مع المصارف الرأسية (الرملية)
  - الدمج مع المصارف الرأسية سابقة التجهيز (فتيلية)
  - التثبيت الكيميائي / الحراري / الكهربائي بما في ذلك تثبيت الجير والأسمنت.

ثبات المنحدرات:

- نزح المياه والتحكم في المياه الجوفية
- المرتكزات والدعائم الأرضية
- تسمير التربة
- نظام التربة المسلحة باستخدام الشبكات الأرضية
- الخوازيق الإبرية، الخوازيق الجذرية وخوازيق السلال
- استقرار التقنيات الحيوية

15.4.2 الممارسات المحلية

تتضمن تقنيات تحسين التربة التي تُمارس بشكل شائع على أنواع التربة كثيرة المشاكل في المملكة العربية السعودية ما يلي (كود البناء السعودي):

15.4.2.1 للتربة الممتدة:

- الإزالة والاستبدال
- التثبيت بالمواد الكيميائية
- تركيب حواجز للرطوبة
- الترطيب المسبق (ملحوظة: في حالة الترطيب المسبق يوصى بتقييم مدى خسارة القوة بسبب الترطيب بالماء).

15.4.2.2 للتربة القابلة للانهيار:

- أعمال الدمك
- الترطيب المسبق بالماء
- التعويم الهزاز
- التثبيت الكيميائي

15.4.2.3 للتربة السبخة:

- الأعمدة الحجرية
- التحميل المسبق
- التعويم الهزاز
- تثبيت المنحدر

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

يصف ميرزا (1992) استخدام أساسات العمود الخرساني لدمك الكثبان الرملية بينما يصف مباركي وعلوجي (1995) استخدم الحجر الجيري لتحسين تربة السبخة

وتتضمن وسائل تحسين التربة العادية الشائعة في المملكة العربية السعودية الضغط الهزازي، الدمك الديناميكي، الخلط العميق للتربة والأعمدة الوحدوية. ويُراعى موافقة الجهة العامة على طريقة التحسين المُختارة لموقع ما.

تتطور تقنيات تحسين التربة سريعًا مع ظهور وسائل جديدة وإجراء تحسينات على الطرق القديمة في جميع أنحاء العالم. يوصى المهندسون الذين يُكلّفون باختيار أو تقييم وسائل تحسين التربة بالبحث عن حلول مبتكرة وجديدة وممكنة.

15.4.3 التحقق من تقنيات تحسين التربة وتقييمها

يعد التحقق من نظام تحسين التربة وتقييمه أمرًا ضروريًا لضمان أداء المشروع وتنفيذه بشكل مرض. ومن ثم، فإن وجود برنامج جيد التخطيط لمراقبة الجودة واختبار المطابقة أثناء البناء يعد أمرًا ضروريًا. وفي هذا الصدد:

- يوصى بوضع خطة جيدة التخطيط للفحص والاختبار وتعيين الأجهزة.
- وستكون هناك حاجة لموظفي معاينة ميدانية على مستوى جيد من التدريب والكفاءة.
- قد تؤثر جدوى الأجهزة والقياسات الميدانية على اختيار بدائل تحسين التربة.
- بالنسبة لأنواع التربة كثيرة المشاكل (مثل التربة الممتدة والقابلة للانهيار)، قد يحدث التحسن في القوة و/أو الانضغاط بشكل تدريجي. ومن الأهمية بمكان الاضطلاع بأعمال مراقبة بعناية للتحقق من أن عمليات التحسين تجري بشكل مُرضي و/أو تتم بشكل موحد.
- في بعض التطبيقات تكون قياسات الحركات وضغوط المياه المسامية ضرورية للتحقق من صلاحية طريقة معينة لتحسين التربة.
- وقد يتطلب الأمر بعض عمليات المراقبة بعد التشييد في بعض المشروعات للتأكد من الأداء على المدى الطويل.
- يمكن الاطلاع على بعض مصادر المعلومات القيمة حول الأجهزة الجيوتقنية والمراقبة في دانيكليف (1993)، وهانا (1985).

16.0 تحليل المياه الجوفية والتسريب

16.1 متطلبات عامة

من الضروري تقييم حالات المياه الجوفية والتسريب لتحديد تأثيرها المحتمل على جميع المشاريع الجيوتقنية، وعلى العكس من ذلك، أن التطوير لا يؤثر سلبًا على نظام المياه الجوفية ، للأسباب التالية:

- يمكن أن تسبب المياه الجوفية أو تساهم في فشل أو تقليل عامل الأمان بسبب التشبع الزائد وما يترتب على ذلك من انخفاض في قوة التربة وزيادة ضغوط التسرب وقوى الرفع.
- في بعض المناطق تحتوي المياه الجوفية على تركيزات مرتفعة من الملوثات أو قد تحتوي على مكونات بتركيزات كافية لجعلها قاسية فتتسبب في تلف مواد البناء مثل الخرسانة والفولاذ. باختصار، يمكن أن تؤثر المياه الجوفية على تصميم عناصر المشروع وأدائها وإنشائها.

16.2 المياه الجوفية

16.2.1 تقييم المياه الجوفية

يتضمن تقييم ظروف المياه الجوفية تحديد مستويات المياه الجوفية والضغوط، وقدرة التوصيل الهيدروليكي وجودة المياه من حيث التركيب الكيميائي. ويُراعى توفير ما يلي:

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- يحدد المهندس الرئيسي في مجال الأعمال الهندسية والمعمارية مستويات المياه الجوفية في التصميم كما يقرر نطاق هذه المياه في التقلبات الموسمية. يمكن قياس مستويات المياه الجوفية في الآبار القائمة وفي الفتحات والآبار التي تم حفرها خصيصًا لمراقبتها وملاحظتها بالبيزوميتر (انظر القسم 7-1). إذا كانت الجيولوجيا أو نظام المياه الجوفية معقدًا، فيوصى بالاستعانة ببيانات الجيولوجي الهندسي و / أو الجيولوجي المائي لتقييم ظروف ضغط المياه الجوفية للتصميم.
- ويحدد المهندس الرئيسي في مجال الأعمال الهندسية والمعمارية الناقلية الهيدروليكية للتربة أو لطبقات الصخور. وتحدد الناقلية الهيدروليكية عن طريق عدة أنواع من اختبارات التسريب والضغط والضخ (انظر القسم 7-4). ستستخدم تقديرات الناقلية الهيدروليكية لتقديم تقييم عن تسرب المياه الجوفية وإنتاجية الآبار والطفو وقوة الأنابيب وثبات المنحدرات وقابلية التربة للتميع. وإذا لزم الأمر، يوصى بتقديم مقترح للسيطرة على المياه الجوفية وتصميم دعامات مؤقتة.
- يُنصح بتقديم توصيات في تقرير التصميم الجيوتقني عن الأجهزة والمراقبة مع الأعداد والتصميمات المطلوب لمستويات المياه و/أو الضغط للحفاظ على الاستقرار ي.

16.3 التسرب

16.3.1 تقييم التسرب

التسرب هو تحرك المياه أو ترشيحها (عادة بكميات صغيرة داخل أو بين رواسب التربة أو بنياتها مثل السواتر الترابية أو الهياكل الهيدروليكية. قد يحدث التسريب أيضًا أثناء عمليات الحفر أسفل مستوى المياه الجوية عبر المناطق الجانبية أو السفلية لمنطقة الحفر. ينبغي تقييم التسرب من أجل الحد من المشاكل أثناء الإنشاءات. ويوصى بأن تراعي الفحوصات الجيوتقنية والتصميم حالات التسرب والآثار المحتملة التي قد تؤثر على مشروع بعينه بما في ذلك النقص في عنصر السلامة تدابير التخفيف من المخاطر.

16.3.2 تحليل التسرب

- شبكة التدفق. هي طريقة رسومية تُستخدم لدراسة التدفق ثنائي الأبعاد للمياه عبر التربة، أي أنها الحل لمعادلة لابلاس عن طريق الرسومات.
- مخطط شبكة التدفق يرد في سيديرغرين (1997) دليل شامل عن مخطط شبكة التدفق. ولا يُستخدم مخطط شبكة التدفق إلا لتوفير تقييم أولي لنظام التدفق وكميات التدفق مع تحليل لاحق باستخدام وسائل الفارق المحدد أو العنصر المحدد.
- ضغط الرفع وأعمال الأنابيب. يوصى بإجراء تحليل للتسرب لتقييم قوى الرفع الهيدروليكي على الهياكل وبالإضافة إلى مشاكل أ عمال الأنابيب. فهاتان الظاهرتان تنشآن بسبب قوى الرفع التي تنتج عن قوى السحب (الاحتكاك اللزج) بين الماء والجزيئات الصلبة. ويعد ضغط الرفع وتقييم أعمال الأنابيب من المور ذات الأهمية الحيوية في تحليلات الاستقرار للأساسات والجدران الساندة والهياكل الأرضية الخاضعة لحركة المياه المتدفقة (التسرب)، ومن ثم من الواجب مراعاتها في أي فحص جيوتقني للمشروع.
- تحليل تسرب المواد متباينة الخواص. على الرغم من أن معادلة الاستمرارية وشبكات التدفق الناتجة مشتقة في الأصل من أجل ظروف متجانسة ومتماثلة للأرض والحالات المستقرة، فمن الضروري مراعاة أنظمة التدفق الأكثر تعقيدًا بما في ذلك التربة ذات الخواص الموحّدة.. يمكن الاستعانة بشبكات التدفق في التقييم للحالات المتباينة، إلا أن هناك برامج حاسوبية تعمل بطريقة العنصر المحدد أو الفارق المحدد لحل مشاكل التسرب المعقدة (أنظر أدناه)
- التحليل العددي. يمكن الوصول إلى الحلول العديدة'لمعادلة لابلاس باستخدام وسائل الفارق التي يمكن برمجتها في تطبيقات أوراق عمل حاسوبية في الحالات ذات الحدود البسيطة..

16.3.3 التطبيقات الحاسوبية في تحليل التسرب

على المهندس الرئيسي المتخصص في الأعمال الهندسية والإنشائية تطبيق البرامج الحاسوبية المذكورة أدناه، حسب الحاجة، بالإضافة إلى عمل مخطط لشبكات التدفق لتقديم مقارنات تقريبية أو تأسيس نتائج متوقعة للتحليل العددي. ومن بين البرامج الحاسوبية المتاحة في الوقت الحالي عن التسرب وتحليل تدفق المياه الجوفية (PLAXIS 2D PlaxFlow (PLAXIS و,SEEP2D, SEEP/W, SVFLUX). تعتمد هذه البرامج بوجه عام على وسائل العنصر المحدد ومعظمها يمكنه التعامل مع المشاكل ثلاثية الأبعاد. ويخضع استخدام هذه البرامج لموافقة الجهة العامة.

16.3.4 عناصر السلامة لتحليل التسرب.

بالنسبةلتحليلات التسرب يُراعى تحديد عناصر السلامة وفقًا للأدلة المنشورة والحكم الهندسي السليم بناء على خصائص أي مشروع بعينه. تتضمن الوثائق الإرشادية عن تحليل التسرب والحد الأدنى من عناصر السلامة لتحليل استقرار الأنابيب كلًا من سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (1986ب)،

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

وأنظمة هندسة المنشآت البحرية (1986). يوصى بإدراج عناصر السلامة المستهدفة في تقرير التصميم الجيوتقني وتقديمه للهيئة العامة لمراجعته والموافقة عليه.

لا يقل عامل السلامة الخاص بأدوات الطفو عن 1.2 للحصول على أكبر تأثيرات متوقعة لقوة الطفو. يمكن تقليل هذا العامل إلى 1.1عندما تكون الأوزان الساكنة المحسوبة محددة جيدًا مثل المكونات الخرسانية.

16.3.5 السيطرة على المياه الجوفية

بينما يكون من المتوقع أن تسبب المياه الجوفية مشاكل في إنشاء وأداء مشروع تطويري ما، فمن الضروري أن يتضمن تقرير التصميم الجيوتقني حسابات وتحليلات وإجراءات التحكم في المياه الجوفية الموصى بها والمناسبة للموقع. ويُنصح بتقديم هذه التدابير الموصى بها للهيئة العامة لمراجعتها والموافقة عليها.

17.0 اعتبارات تتعلق بأعمال الحفر

17.1 تقييم أعمال الردم وأرضية الأساس

ينبغي أن يصنف تقرير التصميم الجيوتقني ويقدم تقييمًا للمواد الناشئة عن أعمال الحفر في الموقع يتعلق بمدى ملاءمتها للاستخدام كمواد ردم بالمشروع أو التخلص من هذه المواد بعيدًا عن الموقع. علاوة على ذلك فينبغي أن يتضمن تقرير التصميم الجيوتقني أيضًا تقييم لتربة أرضية الأساس بما يدعم الأرصفة.

The تُصنّف مواد الحفر وفقًا لنظام تصنيف التربة الموحّد باستخدام وسائل الاختبار المختبرية المناسبة كما يرد في معايير الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM) ومعايير الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل (AASHTO) لتحديد معايير القوة وإمكانية الانضغاط والدمك.
ويُراعى أن يتضمن تقرير التصميم الجيوتقنيما يلي:

- تقييم تربة أرضية الأساس لدعم الرصف
- تقييم مدى سهولة الحفر في التربة والصخور بالموقع
- مدى ملاءمة مواد الحفر لإعادة الاستخدام كمواد ردم شائعة و/أو إنشائية
- الآثار البيئية لأعمال القطع والردم
- احتمالات تراكم تربة الحفر
- توصيات بشأن برنامج أعمال الحفر تتضمن متطلبات الموازنة بين الحفر/الردم
- في حال حدوث أي عجز في مواد الردم المتاحة، يُجرى تقييم للموارد المتاحة من مواد الردم من من مصادر الاقتراض الموجودة على الأرض وإمكانية الحصول على المواد المجروفة واستخدامها.
- وسائل استخدام المواد الفائضة أو غير المناسبة بالموقع للحد من تكاليف التخلص منها
- التخلص من المواد الفائضة (الفائض المناسب وغير المناسب)
- مراقبة أعمال الحفر ومتطلبات الاختبار
- سلامة أعمال الحفر تتضمن الاستقرار والصيانة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

17.2 الفحوصات المختبرية لمواد الردم وأرضية الأساس

يمكن تحديد نوع ومدى مقبولية مواد الحفر وتربة أرضية الأساس عن طريق إجراء الاختبارات التالية باستخدام وسائل الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد:

- معدل التحمل في كاليفورنيا (CBR)
- أقصى كثافة ومحتوى الرطوبة المثالي في التربة
- تحليل حجم جزيئات التربة
- حد السوائل، حد البلاستيك، ومؤشر الليونة بالتربة (حدود أتربيرغ)

17.3 تقييم مواد الردم وأرضية الأساس

ينبغي تقييم مواد الحفر وفقًا لمعايير التقييد المخصصة الواردة في تقرير التصميم الجيوتقني والتي يتطلبها المشروع. من المفترض أن يؤكد تقرير التصميم الجيوتقني على ما يلي:

- المواد المحفورة مناسبة لإعادة الاستخدام بناءً على محتوى الرطوبة والليونة و/أو قوة القصّ.
- خامات أرضية الأساس قابلة للنقل ومناسبة لدعم أحمال الرصف.
- يمكن دمك الخامات المحفورة بحسب معايير التقييد المخصصة.
- ستكون أعمال الحفر مستقرة خلال أعمال الإنشاءات التالية.
- قد يحدث هبوط أو ارتفاع بشكل مفرط أو قد لا يحدث على الإطلاق.

17.4 متطلبات اختيار مواد الردم والتحديد والدمك والاختبار

تستخدم مواد الردم الإنشائية أسفل كل الهياكل والطرق. ينبغي استخدام مواد الردم الشائعة لرفع أرضية الموقع في الأماكن التي لا تدعم الهياكل الإنشائية والطرق. من الضروري أن يوافق المهندس الرئيسي المختص بالأعمال الهندسية والإنشائية على كل مواد الردم الإنشائية والشائعة واتباع مواصفات المشروع. ويُراعى أن تكون مواد الردم الإنشائية والشائعة خالية من المواد العضوية بكميات كبيرة ومن أي حطام أو فضلات بحيث لا يتجاوز أقصى مقاس لها 75 ملم.

كما يُحدد محتوى الرطوبة لجميع خامات الردم المستوردة عند المنبع قبل التسليم لمنطقة الردم. قد تكون ترطيب مواد الردم ضرورية لضمان أنه يمكن دمك هذه المواد وفقًا للمواصفات. يمكن تنفيذ الترطيب في منطقة التربة بعد فرد التربة بارتفاعات غير مضغوطة من أجل ضغطها. تحدد متطلبات الضغط المذكورة أدناه استخدام اختبار بروكتور المعدل (الجمعية الدولية للاختبارات والمواد ASTM D 1557) كونه أساس المقارنة مع كثافة الحقل وتدابير محتوى الرطوبة. يوصى باستخدام اختبار بروكتور المعدل مع الهياكل الإنشائية الكبرى والحرجة و/أو المحملة بشكل كبير. بالنسبة للهياكل الصغيرة والأقل خطورة و / أو ذات الحمل الخفيف، يمكن الاستعانة باختبار بروكتور القياسي (الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد ASTM D 698).

17.4.1 الردم الإنشائي

يُراعى أن تكون مواد الردم الإنشائي، بما في ذلك الردم المستورد من مواد حبيبية ذات درجة جودة جيدة ولا يحتوي على أكثر من 30% من المواد الناعمة. تُضغط جميع مواد الردم الإنشائية بنسبة 95% من أقصى حد للكثافة الجافة وفقًا لبروكتور المُعدّل، وتوضع على ارتفاع 300 ملم مفكك بحد أقصى عند الضغط بمعدات هزازة ثقيلة أو بارتفاع 150 ملم مفكك عند استخدام المعدات اليدوية. كما يكون محتوى الرطوبة بالتربة ضمن 3% من المحتوى المثالي عند الضغط.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

17.4.2 مواد الردم الشائعة

يمكن أن تكون مواد الردم الشائعة ومنها مواد الردم المستوردة، حبيبية أو متماسكة، فإذا كانت متماسكة، فلا ينبغي ان يتجاوزة مؤشر المرونة لها 30. تُضغط جميع مواد الردم الشائعة بنسبة 90% من أقصى حد للكثافة الجافة وفقًا لبروكتور المُعدّل، وتوضع على ارتفاع 300 ملم مفكك بحد أقصى عند الضغط بمعدات هزازة ثقيلة أو بارتفاع 150 ملم مفكك عند استخدام المعدات اليدوية. كما يكون محتوى الرطوبة بالتربة ضمن 3% من المحتوى المثالي عند الضغط.

17.4.3 اختبار مواد الردم المضغوطة

من الضروري الحصول على موافقة الجهة العامة على تكرار اختبار مواد الردم المضغوطة. ومن الإرشادات والتوجيهات العامة بهذا الشأن أنه يُراعى اختبار كثافة مواد الردم المضغوطة ومحتوى الرطوبة بها بمعدل اختبار واحد لكل 100 متر مربع للمساحات الكبيرة مع اختبار واحد على الأقل لكل عملية رفع واختبار لكل عملية تحول. للردم الذي يوضع بحسب الحجم (مثل خنادق الردم)، فيُراعى اختبار مواد الردم المضغوطة بمعدل اختبار واحد لكل 300 متر مكعب مع اختبار واحد على الأقل لكل عملية رفع واختبار لكل عملية تحول.

كما يمكن اجراء فحوصات كثافة الحقل ومحتوى الرطوبة عادة باستخدام المقياس النووي (الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد 6938ASTM D). إذا لم توافق الجهة العامة على هذه المعدات أو لم تكن متوفرة، فيمكن استخدام طريقة المخروط الترابي(معيار الجمعية الأمرية للاختبار والمواد ASTM 1556D) أو طريقة البالون المطاطي (الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد 2167ASTM D)

18.0 تحليل ثبات المنحدر والتصميم

18.1 متطلبات عامة

ينبغي تقييم مدى ثبات المنحدرات الطبيعية والصناعية (الهندسية) لمعرفة احتمالية الفشل وأثرها على سلامة الأشخاص والممتلكات وأيضًا أثرها على إمكانية استخدام المنطقة وعلى قيمتها. يتم إنشاء المنحدرات الهندسية لطرق النقل (على سبيل المثال، المنحدرات)، ومشاريع التطوير الحضرية (مثل الحواجز)، والسدود، والتخلص من نفايات التعدين والنفايات البلدية، وأنشطة البناء الأخرى التي تتطلب تشكيل أعمال الحفريا وبناء المنحدرات. وعندما لا تسمح المساحة المتاحة بإنشاء منحدرات ثابتة، قد يلزم الاحتفاظ بالهياكل الإنشائية (القسم 15.3).

تتوافر عدة مراجع بشأن تحليل ثبات المنحدرات وتصميمها ومنها ما يلي: سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (2003)، والدليل الإرشادي للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة (2001)، والفصل 5 من وأنظمة هندسة المنشآت البحرية (1986)، ودونكان ورايت (2005).

18.2 أنواع حركات المنحدرات ووضعيات الفشل

بشكل عام، يوصى بمراعاة حركات الانحدار أو أنواع الفشل التالية:

- سقوط الصخور أو انقلابها السقوط هو فشل في المنحدرات يتكون من شظايا من التربة أو الصخور التي تسقط بسرعة على المنحدر وترتد وتدور وقد تصبح محمولة جوًا أيضًا طوال طريق سقوطها. الانقلاب شبيه بالسقوط إلا أنه في حالة الانقلاب يبدأ الأمر بكتلة من الصخر أو الطين الصلب الذي يتحرك حركة دوّارة مبتعدًا عن مفصل شق رأسي أو شبه رأسي.
- ثبات المنحدر السطحي عادةً ما يحدث فشل السطوح عند عمق يتراوح بين متر واحد و 1.5 متر، ويكون موازيًا للسطح بشكل عام. وعادة ما يحدث ذلك في التربة غير المتماسكة مع المنحدرات الطويلة نسبيًا بعد هطول المطر لفترة طويلة أو أثناء العواصف المطيرة الجارفة.
- فشل المنحدرات ذات الارتساء العميق يتضمن هذا عادةً سطح ذو فشل دوراني (لمنحدر كامل) ويميل إلى الحدوث في الغالب في التربة المتماسكة.
- الانزلاقات (الانزلاقات الأرضية) حركة المنحدرات التي تتضمن كتلة متجاورة واحدة أو أكثر من الأرض التي تتحرك في اتجاه أسفل المنحدر عن طريق القص على طول الأسطح المحددة جيدًا أو مناطق القص الرقيقة. قد تكون الانزلاقات دائرية أو منقولة بالإزاحة أو مركبة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- التدفق (تدفق الحطام). وهو يتضمن الحركة الجانبية للأرض التي تتمتع بخصائص السوائل اللزجة وقد يختلف التماسك الفعلي للكتلة المتحركة من الرطب إلى الجاف.
- الزحف هو حركة بطيئة بشكل غير محسوس لمادة الأرض ومستمر بصورة نسبية.

18.3 العوامل التي تسبب فشل المنحدرات

- عوامل هندسية - ارتفاع المنحدر، وزاويته وشكله وإزاحة أنواع مختلفة من المواد داخل المنحدر.
- وجود فواصل انقطاعية أو أسطح ضعيفة.
- وجود سوائل (هواء وماء) في التربة (مياه جوفية وتسرب)
- حدوث عملية تجوية أو شيخوخة للتربة ترافقها تغيرات محتملة في ضغط السوائل على المدى البعيد
- التحميل - الوزن الذاتي والأحمال الخارجية (من الأساسات والضغوط التي تحدث ديناميكيًا مثل الزلازل أو نزح المياه)
- البناء - الوزن الإضافي لسد مبني أو قطع بمنحدر موجود

18.4 الإجراءات الواجب اتباعها قبل إجراء تحاليل ثبات المنحدر

- فحص الموقع وأخذ عينة منه
- الفحوصات المختبرية
- تطوير خصائص التربة وتوصيف قوة التربة (التصميم وقوة التربة)
- تحديد موقع المياه الجوفية
- إنشاء نموذج ثنائي الأبعاد للمقطع العرضي، بما في ذلك هندسة السطح والحدود الجوفية بين المواد المختلفة
- اختيار ظروف التحميل

18.5 ظروف التحميل

تُراعى شروط التحميل التالية في تقييمات الثبات

- أثناء عمليات الإنشاءات ونهاية الإنشاءات
- الحالات غير المصفاة قصيرة الأجل والتي تتضمن التراجع المفاجئ أو الفيضان
- الحالات المصفاة طويلة الأجل (تسريب بحالة ثابتة)
- حالات الزلازل

18.6 وسائل تحليل ثبات المنحدر

18.6.1 طريقة التوازن الحدي

تعد طرق التوازن الحدي (LEMs) أكثر الطرق المستخدمة شيوعًا لتقييم ثبات المنحدر. تعتمد هذه الطرق على مبدأ التوازن الساكن حيث يكون مجموع قوى العزم والقوى الرأسية والقوى الأفقية صفراً على طول سطح الانزلاق المحتمل. طريقة التوازن الحدي هي الطريقة التقليدية لتقييم الثبات ويوصى دائمًا بأخذها في الاعتبار. ينشأ عن جميع طرق التوازن الحدي حساب عامل السلامة وهو معدل قوة القصّ المتاحة بالنسبة إلى شدة القصّ المطلوبة من أجل التوازن بطول السطح المنزلق المحتمل. فيما يلي نذكر أكثر الطرق شيوعًا في طرق التوازن الحدي:

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- مخططات (ثبات) التصميم
- طريقة المنحدر غير المحدود
- الطريقة العادية للشرائح (طريقة فيلينيوس)
- طريقة الأسقف المبسطة
- الطريقة السويدية المبسطة
- طريقة جانبو المبسطة
- طريقة سبنسر
- طريقة الوتد (الكتلة المنزلقة)
- طريقة مورغنشترن وبرايس.

كما يمكن الاطلاع على ملخص جيد لهذه الطرق في الفصل 10 من وينتركورن وفانغ (1975).

تُستخدم مخططا التصميم فقط للتحليل الأولي ثم يتم فحصها من خلال إجراء تحليل مفصل باستخدام طرق أكثر صرامة ودقة.

وفيما يتعلق بالحسابات اليدوية، يُحدد عنصر السلامة باستخدام الطرق المعتمدة من الجهة العامة. وقد تتضمن هذه الطرق استخدام طريقة الأسقف المبسطة وطريقة جانبو المبسطة والطريقة السويدية المبسطة أو طريقة الوتد المنزلق - وهي الطرق الصالحة لإجراء الحساب اليدوي إلا أنها تستنفذ الكثير من الوقت. وحاليًا تُجرى معظم تقييمات ثبات المنحدر باستخدام برامج كمبيوتر يمكنها أن تتعامل مع التحليلات الأكثر تعقيدًا كما سيرد لاحقًا.

18.6.2 طريقة الاستمرارية (عنصر محدد، الفوارق المحدودة)

تقدم هذه الطرق، خاصة طريقة العنصر المحدود، تقديرات للتشوهات التي تُحدثها الأحمال المطبقة بما في ذلك أنماط التشوه. تتطلب كل من طرق العناصر المحدودة والفوارق المحدودة وقتًا وجهدًا أكبر بكثير مما هو مطلوب لتحليلات التوازن الحدي وتحتاج إلى بيانات إضافية تتعلق بسلوك الإجهاد والشد للمواد. وبهذه الطريقة تُستخدم هذه الوسائل فقط في الحالات المعقدة. عادةً لا تستخدم تحليلات العنصر المحدود والفوارق المحدودة لغرض واحد فقط وهو حساب عوامل سلامة الثبات.

18.6.2.1 الطرق الاحتمالية (محاكاة مونت كارلو)

تراعي طرق ثبات المنحدرات الاحتمالية عدم اليقين في قيم المتغيرات وتأثير حالات عدم اليقين هذه على القيم المحسوبة لعامل الأمان. تحتوي بعض برامج الحاسوب الخاصة بثبات المنحدرات على ميزات محاكاة مونت كارلو. بالنسبة للمشروعات الكبيرة حيث يحتمل أن يكون لحالات عدم اليقين تأثيرات شديدة على العامل المقيَّم لقيم السلامة تُراعى الطرق الاحتمالية. يمكن الإطلاع على مواصفات تقنيات التحليلات الاحتمالية وتطبيقها على دراسات ثبات المنحدرات في مرجع فيلق القوات البرية الأمريكي الهندسي USACE (1999). كما يناقش ألين وآخرون (2005) المواصفات الإحصائية لمعايير الإدخال.

18.6.2.2 طرق الحالة الحدية

تحظى طريقة تحليل الحالة الحدية (LRFD) لتحليل ثبات المنحدر بقبول واسع النطاق ويوصى بأخذها في الاعتبار عند التصميم عندما يكون ذلك مناسبًا. ينبغي مراجعة العمل البحثي التابع للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة الذي أجراه لوهر وآخرون (2006) لمزيد من المعلومات.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

18.7 عوامل السلامة وإجراءات التصميم وفقًا لعنصر الحِمل والمقاومة

يعتمد عنصر السلامة الذي سيُستخدم في تقييم ثبات المنحدر على:

- طريقة تحليل الثبات المستخدمة
- الطريقة المستخدمة لتحديد قوة القصّ
- درجة الثقة في الاعتماد على بيانات تحت السطح.
- عواقب الفشل.

يمكن افطلاع على عوامل السلامة الموصى بها لتطبيقات مختلفة في مرجع الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة FHWA (2001, 2006a) وفيلق القوات البرية الأمريكي الهندسي USACE (2003) وكما يرد أدناه

وفقًا لمتطلبات دليل التصميم الهندسي للطرق السريعة والشوارع AASHTO، يجب ألا يقل عامل الأمان الأدنى الموصى به للمنحدرات الجانبية للجسر عن 1.5 في التربة ذات الحبيبات الدقيقة و 1.25 في التربة الحبيبية، ولكن بالنسبة للتربة الحبيبية، يجب زيادتها إلى 1.3 كحد أدنى حيث يتسبب فشل المنحدر في أضرار كبيرة وتكاليف إصلاح ضخمة، مثل المنحدرات المجاورة لدعامات الجسر أو الهياكل الاستنادية، وحيث يؤثر الفشل على روابط النقل والاتصالات الإقليمية والحرجة.

يجب تعديل عامل السلامة لمراعاة تفاصيل الاستكشاف للفحوصات تحت السطح، وفقًا للجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة- AASHTO. حيثما يتوفر الاستكشاف التفصيلي، مع معايير التربة والصخور ومستويات المياه الجوفية المحددة بواسطة الاختبارات التي تُجرى في الموقع والمختبر، يكون الحد الأدنى المطلوب من عامل الأمان هو 1.3 للمنحدرات الجانبية للجسر و 1.5 للمنحدرات التي تدعم الدعامات أو الدعامات فوق الجدران الاستنادية. ويوصى بزيادة عوامل الأمان إلى 1.5 و 1.8 على التوالي عندما تكون عملية الاستكشاف محدودة.

بالنسبة للتحميل الزلزالي، يُؤخذ عادةً الحد الأدنى لعامل الأمان على أنه 1.1.

بالنسبة لتحليل ثبات المنحدر باستخدام إجراءات التصميم وفقًا لعنصر الحِمل والمقاومة، يجب ان يكون التصميم متوافق مع مواصفات تصميم الجسر وفقًا للحِمل والمقاومة التابع للجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل (AASHTO).

18.8 استخدام البرامج الحاسوبية في تحليل الثبات

حاليًا تُنفّذ تقييمات ثبات المنحدر باستخدام البرامج الحاسوبية. وهي تنفذ التحليلات الخاصة بمجموعة كبيرة من أشكال المنحدرات الهندسية وظروف التحميل بسرعة وكفاءة تسمح البرامج الحاسوبية بتحليل الأسطح الفاشلة المعقدة وغير المنتظمة وتحليل الأحمال الزلزالية والأحمال الزائدة والأحمال المتعادلة والعديد من العوامل الأخرى. يمكن تنفيذ البرامج الحاسوبية المستخدمة لإجراء الدراسات البارامترية من خلال معايير متغيرة ذات أهمية.

تتوافر العديد من برامج ثبات المنحدرات ثنائية الأبعاد، كما تتوافر بعض البرامج الحاسوبية المعقدة الأخرى التي تقوم بتحليل ثلاثي الأبعاد لثبات المنحدر. بالنسبة لمشاكل تحليل ثبات المنحدرات الروتينية، يجب استخدام برامج ثبات المنحدرات ثنائية الأبعاد كحد أدنى. تشمل البرامج التجارية المتاحة بشكل عام لتحليل استقرار المنحدرات، على سبيل المثال لا الحصر، ما يلي: SLOPE/W, ReSSa, SLIDE, SVSLOPE, UTEXAS, PLAXIS 2D. CLARA-W (Clara-W و5FLAC/SLOPE, GEO) يتضمن إمكانية تحليل ثبات المنحدرات بصورة ثلاثية الأبعاد يخضع استخدام البرنامج للمشروع المحدد، جنبًا إلى جنب مع نموذج ثبات المنحدر المقترح وطريقة التحليل، لموافقة الجهة العامة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

وكما يرد في دليل مستخدم برنامج SLOPE/W "ينبغي أن يستخدم تحليل التوازن الحدي المطبق عمليًا طريقة تفي بالتوازن في القوة والتوازن في قوة العزم مثل طريقة مورغنستيرن برايس أو طريقة سبنسر. ومع أدوات البرامج المتاحة حاليًا، من السهل استخدام أحد الطرق الأكثر صرامة رياضيًا أكثر من استخدام الوسائل الأبسط التي تلبي فقط بعض المعادلات الإحصائية".

18.9 تحسين ثبات المنحدرات

إذا كان عامل الأمان المحسوب لا يفي بمتطلبات تصميم المشروع، فيُراعى النظر في طرق تحسين ثبات المنحدر. يُراعى أن تكون الطرق المستخدمة لتثبيت المنحدرات هي الأكثر توفيرًا مع مراعاة العوامل التالية:

- توافر الموارد وتكلفتها
- **جدول التشييد الزمني:**
- متطلبات التمهيد
- توافر المساحة (مسائل تتعلق بحق الطريق)

الطرق الشائعة للحد من مشاكل ثبات المنحدرات هي:

- النقل (في حالة الحواجز أو الشقوق)
- تقليل الأحمال عن طريق الحفر (إزالة التربة)، بمعنى إزالة الحِمل أعلى المنحدر
- التحكم في الصرف السطحي عن طريق تقليل الارتشاح إلى منحدر غير مستقر
- خفض منسوب المياه الجوفية
- توسيع زاوية المنحدر أو تقليلها
- عمل شق في المنحدر عن طريق إنشاء منبسطات مرتفعة
- إنشاء حواجز تثبيت
- التجميد أو التناضح الكهربي
- تدعيم المنحدر بشبكات أرضية.

19.0 طرق بلا خنادق وحفر أنفاق دقيقة

19.1 متطلبات عامة

- يتضمن تقنيات لتركيب خط المرافق، والاستبدال، وإعادة التأهيل، وما إلى ذلك مع الحد الأدنى من الحفر من سطح الأرض.
- عادةً يتطلب حفر سطحي عند المدخل والمخرج.
- يوصى ب تطوير تصميم المحاذاة لطرق عدم وجود خنادق والأنفاق الدقيقة (مسار الحفر) مع مراعاة الإعداد الجيولوجي للمشروع والقضايا الجيوتقنية والهيدروجيولوجية في موقع العبور المقترح.
- من وجهة نظر جيوتقنية، ينبغي أخذ بعض الأمور في الاعتبار والتي من بينها توزيع رواسب الطبقة السطحية وخصائصها.
- تتوفر العديد من الموارد للإرشاد في تنفيذ التركيبات الخالية من الخنادق، بما في ذلك الجمعية الدولية لتكنولوجيا الخنادق (ISTT) (http://www.istt.com/). (NASTT) (http://www.nastt.org/). وIseley and Gokhale (1998).

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

19.2 الاستخدامات النموذجية

- أنظمة المياه/مياه الصرف الصحي
- أنابيب الغاز والبترول والمواد الكيميائية
- شبكات الأعمال الكهربائية والاتصالات.
- طرق الوصول والأنفاق الأخرى ذات القطر الصغير

19.3 الوسائل الشائعة للأعمال بدون خنادق

- إنشاء الأنفاق الدقيقة
- الحفر باتجاه أفقي
- رفع الأنابيب بالضغط الهيدروليكي
- دق الأنابيب
- مد الأنابيب بالضغط والحفر الأفقي

بشكل عام، تخضع ملاءمة طريقة معينة بدون خنادق لمشروع معين لظروف الموقع التي تحدد أثناء الفحص الجيوتقني، وهو أمر بالغ الأهمية لنجاح أي تركيبات بدون حفر خنادق.

19.4 الاعتبارات المتعلقة بالمخاطر

ترتبط تطبيقات العمل بدون حفر خنادق ببعض المخاطر وبقدر كبير من عدم القدرة على التنبؤ. يكون من مهام فريق التصميم الهندسي والمعماري تحديد وتقييم المخاطر المحتملة أثناء مراحل التخطيط للمشروع ووضع الخطط للتقليل من هذه المخاطر. يتألف الفريق من: مقدم المقترح، والاستشاري الهندسي والجيوتقني والبيئي، ومدخلات من مقاولي الأنفاق المتخصصين. من الضروري إجراء تشاور وثيق مع الهيئات التنظيمية وسلطات الأراضي أثناء عملية التخطيط.

تنقسم المخاطر المرتبطة بطرق العمل بدون حفر خنادق عمومًا إلى ثلاث فئات (الجمعية الكندية لإجراءات البترول CAPP ، 2004):

- المخاطر التنظيمية - عادة ما تظهر أثناء التطبيق / الموافقة.
- مخاطر تتعلق بالأرض والبناء - يمكن تقليل هذه المخاطر من خلال الاضطلاع بعمل تخطيط كاف وإجراء فحص جيوتقني مناسب. تتضمن هذه المخاطر تأثير الطريقة المختارة بدون خنادق على البنية التحتية الحالية التي ستمر بها العمليات التي لن تُحفر فيها الخنادق.
- مخاطر العمليات التشغيلية- وعادةً ما تعتبر الأقل أهمية من وجهة نظر الهندسة الجيوتقنية. وتتضمن المشاكل الجيوتقنية المحتملة حدوث هبوط في مواقع الدخول والخروج.

تُنفذ إجراءات عدم حفر الخنادق وفقًا لكل من أرامكو وARAMCO وSAR وSEAPA وSEC وSTC وSWCC وتراجعها الجهة العامة.

19.5 تقييم خيارات المشروع

يُوصى بأن يتضمن تقرير التصميم التقني تقييمًا لمدى ملاءمة وأسباب اعتماد تقنيات البناء بدون حفر لمحاذاة محددة أو خيارات المحاذاة، جنبًا إلى جنب مع مقاييس ومعلمات التصميم الداعم، والحسابات، والإرشادات لتطوير وثائق العقد. يُراعى في هذا التقييم ما يلي:

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- الجيولوجيا والهيدرولوجيا حسبما تصفها فحوصات الموقع
- معايير التصميم الجيوتقني وحالات الأحمال.
- متطلبات التصميم والأكواد والمعايير المرجعية التي ستُتبع.
- منهجيات البناء بدون خنادق (وأي منهجيات أخرى تكون ملائمة مثل الحفر والتغطية) والتي تكون مناسبة لأنواع الأراضي السائدة والقيود الهيدرولوجية والبيئية والمتعلقة بالموقع.
- نظم الدعم المؤقتة والدائمة (مثل حفر البداية والمستقبلات ونوع البطانة).
- تدابير معالجة المياه الجوفية والأرض مثل حقن مادة عازلة لمنع التسرب ونزح المياه، وتقييم تأثيرها على الأطراف الثالثة والبيئة (على سبيل المثال خفض المياه الجوفية مما يؤدي إلى الهبوط).
- خسارة الأرض وهبوطها إلى مستوى سطح الأرض وضمن مسافة تأثير الأعمال وأثر ذلك على الهياكل والخدمات القائمة، مثل المباني والمرافق المدفونة والسطحية والهياكل تحت الأرض.
- تدابير التخفيف والتحكم لتقييم تأثير الأعمال، بما في ذلك تحديد مسوحات ما قبل التهيئة وما بعد البناء، والحد من معايير الهبوط والانحراف (مع مستويات "التنبيه" و"اتخاذ اجراء" و"الإنذار" التي تؤدي إلى الاستجابات المطلوبة من قبل مقاول البناء في حالة تجاوز هذه القيم)، وخطط الأجهزة والمراقبة للتقييم التفصيلي لحركة المباني والهياكل تحت الأرض وما إلى ذلك بحسب معايير الحركة المقيدة.
- تفاصيل التصميم والمعلومات الداعمة التي سيقدمها مقاول البناء خلال مرحلتي المناقصة والبناء.

20.0 حفر الأنفاق

20.1 متطلبات عامة

- تُحفر الأنفاق لاستبعاد المواد التي تمر من خلالها هذه الأنفاق وهي مطلوبة بشكل عام لتحمل الضغوط العالية.
- تتطلب الأنفاق عادة توفير أعمدة في مواقع الدخول والخروج.
- وعند تطوير تصميم المحاذاة، يُراعى الإعداد الجيولوجي للمشروع والظروف الهيدروجيولوجية.
- من وجهة نظر جيوتقنية، ينبغي أخذ بعض الأمور في الاعتبار والتي من بينها توزيع رواسب الطبقة السطحية وخصائصها ووجود الصخور والانقطاع وحجم وطول النفق ونوع النفق.
- وتتوافر العديد من المصادر لتقديم إرشادات توجيهية عند تنفيذ أعمال حفر الأنفاق ومن بينها بعض الإصدارات مثل الدليل الفني لتصميم وإنشاء قنوات الطريق الصادر عن الإدارة الفيدرالية للطرق السريعة FHWA (2009).
- وتتوافر العديد من أنواع حفر الأنفاق ومن بينها النفق مفتوح الوجه بدون درع، ونفق رأس الطريق ونفق بالحفر والتفجير وطريقة حفر الأنفاق النمساوية الجديدة (NATM) باستخدام بطانة مفرودة وآلة حفر الأنفاق (TBM) والقطع والتغطية والأنبوب المغمور.

20.2 أنواع الأنفاق المختارة

20.2.1 أنفاق الحفر والتغطية

- عادة ما يقع الاختيار عليها نظرًا لطولها المحدود حيث يبلغ عمق النفق 12 مترًا تحت السطح على الرغم من إنشاء العديد من أنفاق الحفر والتغطية على أعماق أكبر.
- أنفاق تُشيد باستخدام طريقة الحفر المفتوح.
- يُستخدم الدعم المؤقت للحفر أثناء عمليات البناء مثل جدران الخوازيق المصفحة والجدران الخرسانية الفاصلة المربوطة من الخلف وما إلى ذلك.
- ويعد الشكل المستدير أو حدوة الحصان هو أكثر أشكال الأنفاق كفاءة إلا أنه يمكن الاستعانة بالأشكال المستطيلة أيضًا.

20.2.2 الأنفاق المشيدة آليًا

- يقع الاختيار عليها عادةً في حال لم تسمح قيود الموقع باستخدام طريقة الحفر والتغطية وحين تسمح ظروف الأرض بالتشييد الآلي والذي يتقرر أثناء مرحلة التخطيط والتصميم أنه فعال من حيث التكلفة.
- في الغالب تتحقق هذه الطريقة باستخدام آلة حفر الأنفاق على الرغم من أن أنفاق رأس الطريق تندرج أيضًا ضمن تلك التي تُشيّد آليًا.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- قد تتطلب دعمًا مؤقتًا ودائمًا للحفاظ على الاستقرار ولتخفيف أعمال الصيانة المستقبلية.
- ويعد الشكل المستدير أو حدوة الحصان هو أكثر أشكال الأنفاق كفاءة إلا أنه يمكن الاستعانة بالأشكال المستطيلة أيضًا وذلك بشكل ملحوظ عند استخدام طريقة الرفع بالضغط الهيدروليكي للنفق.

20.2.3 أنفاق الطريقة النمساوية الجديدة (NATM)

- تنطبق هذه الطريقة على الأنفاق التي تُحفر في الصخور وه تناسب أكثر في الحالات التي يكون فيها الضغط في الموقع عالي للغاية.
- يُحفر النفق ويدعم بالتسلسل الذي وُضع وصمم للتعامل بشكل أفضل مع الظروف التي قد نواجهها.
- تحشد قوة الصخور حول النفق من خلال السماح بتشويه متحكم فيه للأرض.
- يتوفر يتم توفير الدعم الداخلي الأولي بواسطة الخرسانة المقذوفة وتقوية الأسلاك الملحومة ، وغيرها.
- عادة ما يكون الدعم الدائم عبارة عن بطانة خرسانية مصبوبة في المكان فوق غشاء مقاوم للماء.

20.2.4 الحفر والتفجير

- وهذه الطريقة تقتصر على حفر الأنفاق في الصخور.
- يُحفر نمط من الثقوب الصغيرة وتحمل بالمتفجرات ثم تُفجّر لخلق فتحة في الصخر.
- يُراعى في نمط ثقب الحفر نوع الصخر وكسور الصخور الموجودة وشكل النفق النهائي المطلوب.
- يمتد اضطراب الصخور الناتج عن التفجير عادةً إلى مسافة تتراوح بين متر إلى مترين في الصخر.
- يمكن تقليل هذا الاضطراب باستخدام تقنيات التفجير المتحكم فيها.
- قد تؤثر الاهتزازات الناتجة عن التفجير على استقرار النفق وأيضًا على البنى تحت الأرضية المجاورة والهياكل السطحية.

20.2.5 الرفع بالضغط الهيدروليكي في التربة

- عادة ما تُجرى عملية رفع الصندوق مع ارتداء درع واقي للوجه وقد يتطلب الأمر دعامة للوجه.
- يتم توفير دعم مؤقت داخل درع وجه مجزأ والذي يُطوّر بشكل تدريجي متبوعًا برفع هيكل الصندوق.
- قد تكون هناك حاجة إلى دعم إضافي للأرض والوجه على شكل الحقن بمادة مانعة للتسرب لتثبيت التربة، وتسهيل التقوس في السطح ولتخفيف السطح وما ينتج عنه من خسارة الأرض وهبوطها.
- وللتخفيف من آثار السحب، وخاصة أعلى وأسفل الصندوق، يُستخدم نظام مضاد للسحب لتحرير إقران الصندوق بفعالية عن الأرض.
- يتقدم الصندوق باستخدام مقابس دفع مقابل بلاطة تفاعل أو رفع.

20.3 أنواع مشاريع حفر الأنفاق

20.3.1 الأنفاق المائية

- عادة هياكل السحب أو قنوات المياه
- تتميز الأنفاق التي تتمتع بالقليل من الضغط او بدون ضغط على الإطلاق بشكلها الذي يشبه حدوة الحصان.
- أما الأنفاق الخاضعة للضغط الداخلي فتكون دائرية.
- يتراوح نصف القطر عادةً بين 1.8 متر إلى 15 متر.
- يختلف سمك البطانة الخرسانية من حوالي 150 مم إلى 900 مم اعتمادًا على الضغط الخارجي وتصميم النفق (المصفاة أو غير المصفاة) ونوع التربة وثبات الصخور وحجم النفق.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

20.3.2 أنفاق المجاري والصرف الصحي

- إن مياه الصرف الصحي شديدة التآكل وتتطلب خرسانة عالية الجودة.
- بشكل عام ، هذه الأنفاق قريبة من المنحدر ، باستخدام تقنيات الحفر بالقطع والتغطية..
- الشكل الدائري هو الأكثر فاعلية في الحفاظ على سرعة ثابتة عند التدفقات المنخفضة، وبالتالي منع ترسب المواد الصلبة.

20.3.3 أنفاق الطرق والسكك الحديدية

- تتطلب اعتبارات تصميم خاصة للتهوية والسلامة كتوفير عوامل تهوية مساعدة أو وتوفير إزالة النفايات ، وتدابير الحماية من الحرائق.
- بشكل عام، هذه الأنفاق قريبة من المنحدر ، باستخدام تقنيات الحفر بالقطع والتغطية.أو تقنية رفع الصندوق..
- ويعد الشكل المستدير أو حدوة الحصان هو أكثر أشكال الأنفاق كفاءة إلا أنه يمكن الاستعانة بالأشكال المستطيلة ايضًا وذلك بشكل ملحوظ عند استخدام طريقة الرفع بالضغط الهيدروليكي للنفق.

20.4 حفر الأنفاق في الصخور والتربة

20.4.1 حفر الأنفاق في الصخور.

نسرد فيما يلي أهم العناصر الجيولوجية التي يقررها المهندس الرئيسي المختص بالأعمال الهندسية والإنشائية فيما يتعلق بحفر الأنفاق في الصخور:

- نوع وقوة الصخور
- وجود فجوات أو شقوق أو تصدعات في الصخور
- وجود مياه
- مخاطر محتملة كوجود جيوب غازية أو طبقات تربة ضعيفة وما إلى ذلك

قد يتضمن حفر الأنفاق في الصخور بعض التمددات التي تتطلب تدعيمًا مؤقتًا ودائمًا

- عادةً ما يكون الفولاذ الإنشائي اقتصاديًا لاستخدامه في أعمال التركيبات للتدعيم ولسهولة تركيبه.
- تتراوح المسافة بين الدعامات أحيانا بين 1.2 إلى 1.8 متر على حسب حِمل الصخور.
- تُنشأ الحواجز في أسرع وقت ممكن لتثبيت الجزء السفلي من الصخور مع الدعامات الفولاذية عن طريق أوتاد.
- يتم تثبيت عوازل بين الدعامات.
- ومن أنظمة الدعم الأخرى تثبيت مسامير في الصخور ونسيج شبكي والخرسانة المقذوفة وحلقات قطعية من الخرسانة المسلحة
- في الأنفاق الصخرية، اعتمادًا على وقت الوقوف وطبيعة الصخور، قد يتم الاستغناء عن كل من تدابير الدعم المؤقتة والدائمة، أو قد يلزم اتخاذ تدابير دعم محلية فقط.

20.4.2 حفر الأنفاق في المواد الناعمة

نسرد فيما يلي أهم العناصر الجيولوجية التي يقررها المهندس الرئيسي المختص بالأعمال الهندسية والإنشائية فيما يتعلق بحفر الأنفاق في التربة:

- طبيعة التربة (القوة، الكثافة النسبية، المرونة، محتوى الرطوبة..وما إلى ذلك)
- وجود ماء جاري

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

- مخاطر محتملة كوجود جيوب غازية أو طبقات تربة ضعيفة أو تربة ممتدة وما إلى ذلك

يتطلب حفر الأنفاق في التربة عادة توفير وتثبيت نظام دعم دائم كالتالي:

- قد يحتاج نظام دعم الأنفاق المؤقت إلى تثبيت دعامات فولاذية أو نسيج شبكي أو خرسانة مقذوفة أو بطانة قطاعية من الخرسانة المسلحة خلف آلات حفر الأنفاق.
- بدون آلات الحفر قد يتطلب الأمر تدعيم أولي للنفق لتيسير عمليات الدفع داخل النفق. عادة ما تكون الدعامات الأولية من الفولاذ أو البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية. وتثبت إما بالدفع أو بحفرها وتبطينها داخل التربة قبل الحفر.
- كما قد يتطلب الأمر التبطين بمادة عازلة لتثبيت التربة وتقليل التدفق الداخلي.

20.5 تبطين النفق

20.5.1 متطلبات عامة

يتيح تبطين النفق دعمًا دائمًا ويوصى بتثبيت البطانة كما يلي:

- لا تحتاج النفاق المحفورة في الصخور الصلبة او الصخور التي لا تنهار عند التعرض للعوامل الجوية إلى بطانة.
- يتطلب الأمر تبطين للأنفاق فقط في حالة الحفر في الصخور غير السليمة أو المعرضة للانهيار.
- ينبغي أن تتضمن الأنفاق المشيدة في الطرق السريعة والسكك الحديدية بطانة دائمة إذا إذا صدرت توجيهات بغير ذلك.
- تُشيّد الأنفاق من خامات خرسانية.

20.5.2 تفاصيل البطانة الخرسانية

تُشيد البطانة الخرسانية كالتالي:

- عن طريق ضخ الخرسانة بين الصخر/التربة وبين ألواح الفولاذ المؤقتة مع عدم ترك أي فراغات.
- من خلال توفير عناصر تبطين مقطعية مسبقة الصب مثبتة خلف درع النفق أو داخل دعامات النفق المؤقتة ، مع الحشو المضاد للتسريب خلف البطانة القطعية لعدم ترك فراغات.
- تُصمم البطانة الخرسانية لمقاومة الضغط الأرضي والظروف الهيدروستاتيكية وحالات الأحمال السائدة. يُحدد سُمك الخرسانة والدعامات وفقًا للشكل الهندسي للنفق وحمل الصخور ووزن الخرسانة.
- من الضروري الرجوع إلى تقرير التصميم الجيوتقني لتحليل متطلبات النفاق التي ليس لها دعامة بطانة أو في حال اقتراح وسائل إنشاء بديلة للأنفاق مثل الطريقة النمساوية الجديدة (NATM)

20.6 أعمدة النفق

- تعتبر الأعمدة هي نقاط البدء لحفر الأنفاق.
- من المهم تثبيت أعمدة في الأنفاق لتكون وسيلة تهوية للبناء حيثما تطلبت أكواد التصميم ومعاييره ذلك.
- وينبغي أن يكون التوجه في تصميم العمود مشابهًا للتوجه المستخدم في تصميم النفق.
- يمكن تركيب أعمدة سطحية باستخدام طريقة القطع والتغطية واستخدام دعامة للحفر من ركائز استنادية ذات دعامات أو ذات صفائح مع العوازل حيثما يكون ذلك ملائمًا.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

20.7 تقييم خيارات نفق المشروع

يُوصى بأن يتضمن تقرير التصميم التقني تقييمًا لمدى ملاءمة وأسباب اعتماد تقنيات تشييد الأنفاق من أجل محاذاة محددة أو خيارات المحاذاة أخرى، جنبًا إلى جنب مع مقاييس ومعايير التصميم الداعم، والحسابات، والإرشادات لتطوير وثائق العقد. يُراعى في هذا التقييم ما يلي:

- جيولوجيا لهيدرولوجيا المحاذاة حسبما تصفها فحوصات الموقع
- معايير التصميم الجيوتقني وحالات الأحمال.
- متطلبات التصميم والأكواد والمعايير المرجعية التي ستُتبع.
- منهجيات تشييد الأنفاق والتي تكون مناسبة لأنواع الأراضي السائدة والقيود الهيدرولوجية والبيئية والمتعلقة بالموقع.
- أنظمة الدعم المؤقتة والدائمة (مثل التدعيم الأولي للنفق، والحقن بمادة عازلة للتسريب، وتثبيت مسامير الصخور بمسامير، والشبكات والخرسانة المقذوفة، وتصميم نظام التبطين الدائم).
- تدابير معالجة المياه الجوفية والأرض مثل حقن مادة عازلة لمنع التسرب ونزح المياه، وتقييم تأثيرها على الأطراف الثالثة والبيئة (على سبيل المثال خفض المياه الجوفية مما يؤدي إلى الهبوط).
- خسارة الأرض وهبوطها إلى مستوى سطح الأرض وضمن منطقة تأثير أعمال حفر الأنفاق وأثر ذلك على الهياكل والخدمات القائمة، مثل المباني والمرافق المدفونة والسطحية والهياكل تحت الأرض.
- تدابير التخفيف والتحكم لتقييم تأثير الأعمال، بما في ذلك تحديد مسوحات ما قبل التهيئة وما بعد البناء، والحد من معايير الهبوط والانحراف (مع مستويات "التنبيه" و"اتخاذ اجراء" و"الإنذار" التي تؤدي إلى الاستجابات المطلوبة من قبل مقاول البناء في حالة تجاوز هذه القيم)، وخطط الأجهزة والمراقبة للتقييم التفصيلي لحركة المباني والخدمات والهياكل تحت الأرض وما إلى ذلك بحسب معايير الحركة المقيدة.
- تفاصيل التصميم والمعلومات الداعمة التي سيقدمها مقاول البناء خلال مرحلتي المناقصة والبناء.

21.0 الملحق أ:

21.1 المعايير

وردت الإشارة إلى معايير الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد التالية في الدليل التوجيهي. المرجع الكامل لكل معيار ASTM مدرج هو نفسه الخاص بالمعيار ASTM C 295.

1. ASTM C 295 : دليل قياسي للفحص البتروغرافي للركام للخرسانة. جمعية ASTM International, West Conshohocken, PA.
2. ASTM C 535 : طريقة الاختبار القياسية لمقاومة التحلل للركام الخشن كبير الحجم عن طريق التآكل والصدمات في آلة لوس أنجلوس.
3. ASTM D 420 : الدليل القياسي لتوصيف الموقع لأغراض التصميم الهندسي والبناء (سُحب في 2012).
4. ASTM D 422 : طريقة الاختبار القياسية لتحليل حجم جزيئات التربة (سُحِب 2016).
5. ASTM D 698 : طرق الاختبار القياسية لخصائص ضغط التربة في المختبر باستخدام الجهد القياسي (12,400 قدم-رطل قدم/قدم^3 (600 كيلو نيوتن متر/ م^3)).
6. ASTM D 1143 : طرق الاختبار القياسية للأساسات العميقة تحت الحمل الانضغاطي المحوري الاستاتيكي.
7. ASTM D 1194 : طريقة الاختبار القياسية لقدرة تحمل التربة للحمل الثابت والقواعد الخرسانية المنفصلة (سُحب في 2003).
8. ASTM D 1452 : الممارسة القياسية لاستكشاف التربة وأخذ العينات عن طريق مد الأنابيب بالضغط والحفر الأفقي.
9. ASTM D 1556 : طريقة الاختبار القياسية لكثافة ووزن وحدة التربة في المكان بطريقة المخروط الرملي.
10. ASTM D 1557 : طرق الاختبار القياسية لخصائص ضغط التربة في المختبر باستخدام الجهد المعدل (56,000 قدم-رطل قدم/قدم^3 (2,700 كيلو نيوتن متر/ م^3)).
11. ASTM D 1586 : طريقة الاختبار القياسية لاختبار الاختراق القياسي (SPT) وأخذ عينات من التربة من الأنبوب المنفصل.
12. ASTM D 1587 : الممارسة القياسية لأخذ عينات من الأنبوب الرقيق الجدران من التربة الدقيقة الحبيبات للأغراض الجيوتقنية.
13. ASTM D 2113 : الممارسة القياسية لحفر الصخور الأساسية وأخذ عينات من الصخور لاستكشاف الموقع.
14. ASTM D 2166 : طريقة الاختبار القياسية لقوة الضغط غير المحصورة للتربة المتماسكة.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

15. ASTM D 2167 : طريقة الاختبار القياسية لكثافة ووزن وحدة التربة في المكان بطريقة البالون المطاطي.
16. ASTM D 2216 : طرق الاختبار القياسية لتحديد محتوى الماء (الرطوبة) للتربة والصخور بالمختبر بحسب الكتلة.
17. ASTM D 2435 : طرق الاختبار القياسية لخصائص الدمج أحادي البعد للتربة باستخدام التحميل الإضافي.
18. ASTM D 2487 : الممارسة القياسية لتصنيف التربة للأغراض الهندسية (النظام الموحد لتصنيف التربة).
19. ASTM D 2488 : الممارسة القياسية لوصف وتعريف التربة (إجراء الدليل المرئي).
20. ASTM D 2573 : طريقة الاختبار القياسية لاختبار القص بالريش في الميدان في التربة المشبعة الدقيقة الحبيبات.
21. ASTM D 2845 : طريقة الاختبار القياسية للتحديد سرعات النبض وثوابت الصخور المرنة بالموجات فوق الصوتية في المختبر (سُحبت عام 2017).
22. ASTM D 2850 : طريقة الاختبار القياسية لاختبار ضغط ثلاثي المحاور غير متماسك وغير مصرف المياه على تربة متماسكة.
23. ASTM D 3080 : طريقة الاختبار القياسية لاختبار القص المباشر للتربة في ظروف الصرف المجمعة.
24. ASTM D 3441 : طريقة الاختبار القياسية لاختبارات الاختراق المخروطية الميكانيكية للتربة.
25. ASTM D 3689 : طرق الاختبار القياسية للأساسات العميقة تحت حِمل التوتر المحوري االاستاتيكي.
26. ASTM D 3966 : طرق الاختبار القياسية للأساسات العميقة تحت حِمل التوتر المحوري االاستاتيكي.
27. ASTM D 4043 : الدليل القياسي لاختيار طريقة اختبار الخزان الجوفي في تحديد الخصائص الهيدروليكية بتقنيات الآبار.
28. ASTM D 4186 : طريقة الاختبار القياسية لخصائص الدمج أحادي البعد للتربة المتماسكة المشبعة باستخدام تحميل ذو جهد خاضع للتحكم.
29. ASTM D 4220 : الممارسة القياسية لحفظ ونقل عينات التربة.
30. ASTM D 4318 : طرق الاختبار القياسية لحد السوائل، حد البلاستيك، ومؤشر الليونة بالتربة
31. ASTM D 4428 : طرق الاختبار القياسية لاختبار الزلازل عبر الفتحات.
32. ASTM D 4525 : طريقة الاختبار القياسية لنفاذية الصخور عن طريق نفخ الهواء.
33. ASTM D 4546 : طرق الاختبار القياسية لانتفاخ التربة أو انهيارها أحادي البعد.
34. ASTM D 4644 : طريقة الاختبار القياسية لقوة تحمل الطفل الصفخي والصخور الضعيفة المماثلة.
35. ASTM D 4648 : طرق الاختبار القياسية لاختبار القص بالريشة المصغر في المختبر للتربة الطينية المشبعة الدقيقة الحبيبات.
36. ASTM D 4700 : الدليل القياسي لأخذ عينات التربة من منطقة فادوز.
37. ASTM D 4719 : طرق الاختبار القياسية لاختبار مقياس الضغط المسبق في التربة (سُحب عام 2016).
38. ASTM D 4750 : طريقة الاختبار القياسية لتحديد مستويات السائل تحت السطحي في بئر أو بئر مراقبة (بئر المراقبة) (سُحِب عام 2010).
39. ASTM D 4767 : طريقة الاختبار القياسية لاختبار ضغط ثلاثي المحاور متماسك وغير مصرف المياه لتربة متماسكة.
40. ASTM D 4945 : طريقة الاختبار القياسية للاختبار الديناميكي عالي الإجهاد للأساسات العميقة.
41. ASTM D 4959 : طريقة الاختبار القياسية لتحديد المحتوى المائي للتربة عن طريق التسخين المباشر.
42. ASTM D 5084 : طرق الاختبار القياسية لقياس التوصيل الهيدروليكي للمواد المسامية المشبعة باستخدام مقياس نفاذية الجدار المرن.
43. ASTM D 5092 : الممارسة القياسية لتصميم وتركيب آبار مراقبة المياه الجوفية.
44. ASTM D 5240 : طريقة الاختبار القياسية لتقييم متانة الصخور للتحكم في التآكل باستخدام كبريتات الصوديوم أو كبريتات المغنيسيوم.
45. ASTM D 5312 : طريقة الاختبار القياسية لتقييم متانة الصخور للتحكم في التآكل في ظروف التجميد وإذابة التجميد.
46. ASTM D 5313 : طريقة الاختبار القياسية لتقييم متانة الصخور للتحكم في التآكل في ظروف الترطيب والتجفيف.
47. ASTM D 5607 : طريقة الاختبار القياسية لأداء الاختبارات المعملية لقوة القص المباشرة لعينات الصخور تحت قوة طبيعية ثابتة.
48. ASTM D 5731 : طريقة الاختبار القياسية لتقدير مؤشر قوة تحميل النقطة للصخور والتطبيق على تصنيفات مقاومة الصخور.
49. ASTM D 5777 : الدليل القياسي لاستخدام طريقة الانكسار الزلزالي للفحوصات تحت السطحية.
50. ASTM D 5778 : طريقة الاختبار القياسية لاختبار مخروط الاحتكاك الإلكتروني واختبار اختراق مخروط بيزوكون للتربة.
51. ASTM D 5783 : الدليل القياسي لاستخدام الحفر الدوراني المباشر مع سائل الحفر المائي للاستكشاف البيئي وتركيب أجهزة مراقبة جودة المياه الجوفية.
52. ASTM D 5873 : طريقة الاختبار القياسية لتقدير صلابة الصخور بطريقة المطرقة الارتدادية.
53. ASTM D 5878 : أدلة قياسية لاستخدام أنظمة تصنيف الكتلة الصخرية للأغراض الهندسية.
54. ASTM D 6151 : الممارسة القياسية لاستخدام مثاقب ذات جذوع مجوفة للاستكشاف الجيوتقني وأخذ عينات التربة.
55. ASTM D 6282 : الدليل القياسي لأخذ عينات التربة بالدفع المباشر من أجل التوصيفات البيئية للموقع.
56. ASTM D 6430 : الدليل القياسي لاستخدام طريقة الجاذبية للفحوصات تحت السطحية.
57. ASTM D 6431 : الدليل القياسي لاستخدام طريقة مقاومة التيار المباشر للفحوصات تحت السطحية.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

58. ASTM D 6432 : الدليل القياسي لاستخدام طريقة رادار اختراق سطح الأرض للفحوصات تحت السطحية.
59. ASTM D 6519 : الممارسة القياسية لأخذ عينات التربة باستخدام جهاز أخذ العينات بالمكبس الثابت هيدروليكي التشغيل.
60. ASTM D 6635 : طريقة الاختبار القياسية لأداء مقياس توسع اللوح المسطح.
61. ASTM D 6639 : الدليل القياسي لاستخدام الطريقة الكهرومغناطيسية لمجال التردد للفحوصات تحت السطحية.
62. ASTM D 6907 : الممارسة القياسية لأخذ عينات التربة والوسائط الملوثة باستخدام مثاقب دلو تعمل يدويًا.
63. ASTM D 6913 : طرق الاختبار القياسية لتوزيع حجم الحبيبات (التدرج) للتربة باستخدام تحليل الغربال.
64. ASTM D 6938 : طرق الاختبار القياسية للكثافة الموضعية والمحتوى المائي للتربة وركام التربة بالطرق النووية (العمق السطحي).
65. ASTM D 7012 : طرق الاختبار القياسية للقوة الضاغطة والمركبات المرنة للعينات الأساسية الصخرية السليمة في ظل حالات الإجهاد ودرجات الحرارة المتفاوتة.
66. ASTM D 7063 : طريقة الاختبار القياسية للمسامية الفعالة والفراغات الهوائية الفعالة لعينات خليط الأسفلت المضغوط.
67. ASTM D 7070 : طرق الاختبار القياسية لزحف عينة الصخور الجوفية تحت ضغط ودرجة حرارة ثابتة.
68. ASTM D 7383 : طرق الاختبار القياسية لاختبار النبض (السريع) لقوة الضغط المحورية للأساسات العميقة.
69. ASTM D 7400 : طرق الاختبار القياسية لاختبار الزلازل في قاع البئر.
70. ASTM G 57: : طريقة الاختبار القياسية للقياس الميداني لمقاومة التربة باستخدام طريقة وينر رباعية القطب

21.2 المراجع

ورد ذكر المراجع التالية في هذه الدليل التوجيهي.

1. AASHTO. (1988). Manual on Subsurface Investigations. Washington, D.C.
2. AASHTO. (2014). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th ed.
3. Aas, G., Lacasse, S., Lunne, I., and Hoeg, K. (1986). استخدام الاختبارات في الموقع لتصميم الأساسات في الطين. Proceedings, In Situ '86, American Society of Civil Engineers, pp. 1-30. الإجراءات في الموقع 86، الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين ص. 1-30
4. ت. الرفاعي ود. الغامدي. (1994). Geological and Geotechnical Aspects of Saudi Arabia. Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 12, pp. 253-276.
5. Allen, T., Nowak, A., and Bathurst, R. (2005). Calibration to Determine Load and Resistance Factors for Geotechnical and Structural Design. TRB Circular E-C079, Washington, D.C., pp. 1-5.
6. Amin, A. and Bankher, K. (2004). Geotechnical Aspects of Loess in Kingdom of Saudi Arabia. JKAU: Earth Sciences, Vol. 15, pp. 163-179.
7. ASCE: (1993). USACE EM 1110-2-2906, Design of Pile Foundations ASCE, Reston, VA.
8. Baguelin, F., Jezequel, J.F., and Shields, D.H. (1978). The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans Tech Publication, Switzerland.
9. Bathurst, R., and Jones, C. (2001). Earth Retaining Structures and Reinforced Slopes. In R. K. Rowe, Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, pp. 501-537. Kluwer Academic Publishers, Boston.
10. Bjerrum, L. (1972). Embankments on Soft Ground, Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Purdue University, Vol. 2, pp. 1-54.
11. Bjerrum, L. (1973). Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays. Proceedings 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), Moscow, State of the Art Report, Vol. 3, pp. 111-159.
12. Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th ed. McGraw Hill, New York.
13. Briaud, J.L. (1989). The Pressuremeter Test for Highway Applications. Report FHWA-IP-89-008, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
14. CAPP. (2004). Planning Horizontal Directional Drilling for Pipeline Construction. Canadian Association of Petroleum Producers.
15. Cedergren, H.R. (1997). Seepage, Drainage, and Flow Nets, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

.16 ed. Canadian Geotechnical Society, c/o BiTech th4 ,CFEM. (2006). Canadian Foundation Engineering Manual .Publishers, Richmond, British Columbia

.17 .CLARA-W. Slope Stability Analysis http://www.clara-w.com accessed August 2, 2017.

.18 .Clarke, B.G. (1995). Pressuremeters in Geotechnical Design. Blackie, London

.19 Dafalla, M.A. and Shamrani, M.A. (2012). Expansive Soil Properties in a Semi-Arid Region. Research Journal of .938-930 .Environmental and Earth Sciences 4 (11), pp

.20 Das, B.M. (1999). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement. MIT Press

.21 Day, R. W. (1999). The Pressuremeter and Foundation Engineering. Design and Construction. McGraw-Hill, New .York

.22 .Dean, E.T.R 2010 الهندسة الجيوتقنية البحرية: Principles and Practice. Spon Press, New York.

.23 Decourt, L. (1989). The Standard Penetration Test State-of-the-Art Report. Proceedings, 12th International Conference .2416-2405 .on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, Vol. 4, pp

.24 Douglas, B.J. and Olsen, R.S. (1981). Soil Classification using Electric Cone Penetrometer. Proceedings, Symposium .227-209 .on Cone Penetration Testing and Experience, St. Louis, MO. pp

.25 .Driscoll, F.G. (1986). Groundwater and Wells, 2nd ed., Johnson Screens, St. Paul, MN

.26 .Duncan, J.M., & Wright, S.G. (2005). Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Sons, New York

.27 .Dunnicliff, J. (1993). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley & Sons, New York

.28 Durgunoglu, H.T. and Mitchell, J.K. (1975). Static Penetration Resistance of Soils, Evaluation of Theory and .Implication for Practice. Proceedings of the In-situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, NC

.29 Erol, A.O. (1989). Engineering Geological Considerations in a Salt Dome Region Surrounded by Sabkha Sediments, .232-215 .Saudi Arabia. Engineering Geology, Vol. 26, pp

.30 Fellenius, B.H. (2017). Basics of Foundation Design. Electronic Edition, available at www.Fellenius.net accessed 2 August, 2017.

.31 .026-01-FHWA (2001). Soil Slope and Embankment Design Reference Manual. Report No. FHWA NHI سلاح .Department of Transportation, Washington, D.C

.32 Characterization. Publication No. FHWA (2002a). Subsurface Investigations - Geotechnical Site .FHWA NHI-01-031, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C

.33 .054-02-FHWA (2002b). Geotechnical Engineering Circular No. 6 - Shallow Foundations. Report No. FHWA NHI .Department of Transportation, Washington, D.C سلاح

.34 .089-06-FHWA (2006a). Soils and Foundations Reference Manual – Vol. I and II. Report No. FHWA NHI سلاح .Department of Transportation, Washington, D.C

.35 .042-05-FHWA (2006b). Design and Construction of Driven Pile Foundations - Vol. I and II. Report No. FHWA NHI .Department of Transportation, Washington, D.C سلاح

.36 .034-10-FHWA (2009). Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels. Report No. FWHA NHI سلاح .Department of Transportation, Washington, D.C

.37 .Explicit Continuum Factor-of-Safety Analysis of Slope Stability in 2D .FLAC/SLOPETM http://www.itascacg.com accessed August 2, 2017.

.38 .5GEO .Slope Stability Analysis http://www.clara-w.com accessed August 2, 2017.

.39 /http://www.pile.com/products/grlweap ,.GRLWEAP Wave Equation Analysis for Pile Driving. Pile Dynamics, Inc .2017 ,2 accessed August

.40 Hanna, T. (1985). Field Instrumentation in Geotechnical Engineering. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, .Germany

.41 .Harr, M.E. (1962). Groundwater and Seepage, McGraw-Hill, New York

.42 Holtz, R.D. (1991). Stress Distribution and Settlement of Shallow Foundations, in Foundation Engineering Handbook, .Fang, H-Y. (ed.), pp. 166-222. Springer International Publishing, A.G

.43 Holtz, R.D., Shang, J.Q., and Begado, D.T. (2001). Rowe, Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, .pp. 429-462. Springer International Publishing, A.G

.44 .Hunt, R.E. (1986). Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation. McGraw Hill, New York

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

.45 International Society for Trenchless Technology http://www.istt.com/ accessed August 2, 2017.

.46 Iseley, T., and Gokhale, S.B. (1998). Trenchless Installation of Conduits beneath Roadways. Transportation Research Board, Synthesis of Highway Practice 242. National Academy Press, Washington, D.C.

.47 الجمعية الدولية لميكانيكا التربة والهندسة الجيوتقنية. (2005). Geotechnical and Geophysical Investigations for Offshore and Nearshore Developments. Technical Committee 1, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

.48 James, A.N. and Little, A.L. (1994). Geotechnical Aspects of Sabkha at Jubail, Saudi Arabia. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 27, pp. 83-121.

.49 Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. and Lancellotta, R. (1985). New Developments in Field and Laboratory Testing of Soils. Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 1, pp. 57-153.

.50 Janbu, N. and Senesset, K. (1973). Field Compressometer - Principles and Applications. Proceedings of 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSFME), Moscow, Vol. 1.1, pp. 191-198.

.51 Leroueil, S. La Rochelle, P., Tavenas, F. and Roy, M. (1990). Remarks on the Stability of Temporary Cuts. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 5, pp. 687-692.

.52 Leroueil, S. (2001). 39th Rankine Lecture – Natural Slopes and Cuts, Movement and Failure Mechanisms. Geotechnique, Vol. 51, No. 3, pp. 197-243.

.53 Loehr, J.E., Finley, C.A., and Huaco, D.R. (2006). Procedures for Design of Earth Slopes Using LRFD, FHWA Research Report RI 03.030.

.54 LPILE. Laterally-Loaded Pile Analysis http://www.ensoftinc.com/products/lpile/ accessed August 2, 2017.

.55 Lunne, T., Lacasse, S. and Rad, N.S. (1989). SPT, CPT, Pressuremeter Testing and Recent Developments in In-Situ Testing – Part 1: All tests except SPT. Proceedings of 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, Vol. 4, pp. 2239-2403.

.56 Lunne, T., Robertson, P., and Powell, J. (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic/Routledge Publishing, New York.

.57 Mayne, P.W. and Mitchell, J.K. (1988). Profiling of Overconsolidation Ratio in Clays by Field Vane. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 25, No. 1, pp. 150-158.

.58 Meyerhof, G.G. (1956). Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. ASCE Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 82, SM1, pp. 1-19.

.59 Meyerhof, G.G. (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. Journal of the Geotechnical Division, ASCE, Vol. 102, GT3, pp. 197-228.

.60 Mirza, S.I. (1992). Compaction of Dune Sand Backfill by Concrete Shaft Vibrators. Canadian Geotechnical Journal. (29)2, pp. 315-321.

.61 Mitchell, J.K., Guzikowski, F. and Villet, W.C.B. (1978). The Measurement of Soil Properties In-Situ. Report prepared for US Department of Energy, Contract W-7405-ENG-48, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, CA.

.62 Mitchell, J.K. (1988). New Developments in Penetration Tests and Equipment. Proceedings of International Symposium on Penetration Testing (ISOPT-1), Orlando, FL Vol. 1, pp. 245-262.

.63 Mubarki, A.M., and Alawaji, H. (1995). Improvement of Jizan Sabkha Soil by Using Lime. King Saud University, Riyadh.

.64 Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC). 1982. Design Manual 7.01 - Soil Mechanics Government سلاح Printing Office, Alexandria, Va.

.65 Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC). (1986). Design Manual 7.02 - Foundations and Earth Structures Government Printing Office, Alexandria, Va سلاح.

.66 Nicholson, G.A. (1983). In Situ and Laboratory Shear Devices for Rock: a Comparison. Technical Report GL-83-14, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

.67 North American Society for Trenchless Technology http://www.nastt.org accessed August 2, 2017.

.68 O'Neil, M.W., and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA Report No. FHWA IF-99-025.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

.69 O'Rourke, T., and Jones, C. (1990). Overview of Earth Retention Systems 1970 to 1990, in Lambe, P. and Hansen, L. (eds.) Design and Performance of Earth Retaining Structures, pp. 22-51. ASCE, Reston, VA.

.70 OSIG. (2014). Guidance Notes for the Planning and Execution of Geophysical and Geotechnical Ground Investigation for Offshore Renewable Energy Developments. Society for Underwater Technology, Offshore Site Investigation and Geotechnics Committee, London.

.71 Peck, R., Hanson, E., and Thornburn, T. (1974). Foundation Engineering. Second Edition. John Wiley & Sons, New York.

.72 .PLAXIS http://www.plaxis.nl/plaxis2d accessed August 2, 2017.

.73 Poulos, H.G., and Davis, E.H. (1980). Pile Foundations Analysis and Design. John Wiley & Sons, New York.

.74 Poulos, H.G., Carter, J.P., and Small, J.C. (2001). Foundations and Retaining Structures – Research and Practice. 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, pp. 1-80. Istanbul.

.75 Powers, R.W., Ramirez, L.F., Redmond, C.D., and Elberg, E.L. (1966). Geology of the Arabian Peninsula – Sedimentary Geology of Saudi Arabia, U.S. Geological Survey Professional Paper 560-D, Washington, DC.

.76 Randolph, M., and Gourvenec, S. (2011). Offshore Geotechnical Engineering. Thomas Telford, London.

.77 Reese, L.C., Isenhower, W.M., and Wang, S-T. (2005). Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations. John Wiley & Sons, New York.

.78 Reese, L.C., and Van Impe, W.F. (2011). Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading. 2nd ed. CRC Press.

.79 .ReSSA. ADAMA Engineering http://www.reslope.com/ressaindex.htm accessed August 2, 2017.

.80 Robertson, P.K. (1986). In-Situ Testing and its Application to Foundation Engineering. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 23, No. 4, pp. 573-594.

.81 Schmertmann, J.H. (1970). Static Cone to Compute Static Settlement over Sand. ASCE Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 96, SM3, pp. 1011-1043.

.82 Schmertmann, J. (1978). Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design, FHWA-TS-78-209. سلاح Department of Transportation, Washington, D.C.

.83 Schmertmann, J.H. (1979). Statics of SPT. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 105, GT5, pp. 655-670.

.84 Schmertmann, J.H. (1986). Suggested Method for Performing the Flat Dilatometer Test. ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 9 (2), pp. 93-101.

.85 Seed, H.B., and Whitman, R.V. (1970). Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads, Proceedings, Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth-Retaining Structures, ASCE, Ithaca, NY.

.86 Seed, H.B. (1979). Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground during Earthquakes. ASCE Journal, Geotechnical Engineering Division, Vol. 105, No. GT2, pp. 201-205.

.87 .SEEP2D. Earth Dam and Levee Analysis with GMS http://www.aquaveo.com accessed August 2, 2017.

.88 .SEEP/W. Seepage Flow Analysis http://www.geo-slope.com accessed August 2, 2017.

.89 Shehata, W. and Amin, A. (1997). Geotechnical Hazards Associated with Desert Environment. Natural Hazards, Vol. 16, Issue 1, pp. 81-95.

.90 .SIGMA/W. Stress Deformation Analysis http://www.geo-slope.com accessed August 2, 2017.

.91 Skempton, A.W. (1986). Standard Penetration Test, Procedures and Effects in Sands of Overburden, Relative Density, Particle Size, Aging and Over-consolidation. Geotechnique, Vol. 36, No. 3, pp. 425-447.

.92 SLIDE. Limit Equilibrium Slope Stability Analysis http://www.rocscience.com accessed August 2, 2017.

.93 Sloan, S.W. and Yu, H.S. (1996). Rigorous Plasticity Solutions for the Bearing Capacity Factor N_γ. 7th Proceedings, Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Jaska, M.B., Kaggwa, W.S., and Cameron, D.A. (eds.), pp. 544-550.

.94 .SLOPE/W Slope Stability Analysis http://www.geo-slope.com accessed August 2, 2017.

.95 Stipho, A.S. (1992). Aeolian Sand Hazards and Engineering Design for Desert Regions. Quarterly Journal of Engineering Geology, 25, pp. 83-92.

.96 .SVFLUX. Finite Element Groundwater Seepage Analysis. Soil Vision Systems Ltd http://www.soilvision.com accessed August 2, 2017.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند

.97 SVSLOPE. 2D/3D Slope Stability Analysis. Soil Vision Systems Ltd. http://www.soilvision.com, accessed August 2, 2017.

.98 Terzaghi, K., and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

.99 Tomlinson, M., and Woodward, J. (2008). Pile Design and Construction, 5th ed. Taylor and Francis, London.

.100 UFC. (2004). Dewatering and Groundwater Control, UFC 3-220-05. Unified Facilities Criteria, U.S. Department of Defense.

.101 USACE. (1986a). Laboratory Soils Testing. EM 1110-2-1906. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.102 USACE. (1986b). Seepage Analysis and Control for Dams. EM 1110-2-1901. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.103 USACE. (1990). Settlement Analysis. EM 1110-1-1904. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.104 USACE. (1991). Design of Pile Foundation. EM 1110-2-2906. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.105 USACE. (1992). Bearing Capacity of Soils. EM 1110-1-1905. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.106 USACE. (1993). Rock Testing Handbook. سلاح Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.

.107 USACE. (1994). Rock Foundations. EM 1110-1-2908. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.108 USACE. (1999). Risk Based Analysis in Geotechnical Engineering for Support of Planning Studies. ETL 1110-2-556. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.109 USACE. (2001). Geotechnical Investigations. EM 1110-1-1804. سلاح Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.110 USACE. (2003). Slope Stability. EM 1110-2-1902. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

.111 UTEXAS. Slope Stability Software. http://www.shinoak.com/, accessed August 2, 2017.

.112 Vesic, A.S. (1977). USACE EM 1110-2-2906, Design of Pile Foundations Transportation Research Board, Synthesis of Highway Practice 42. National Academy Press, Washington, D.C.

.113 Winterkorn, H.F., and Fang, H-Y. (1975) Foundation Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York.

.114 Ziegler, T.W. (1972). In Situ Tests for the Determination of Rock Mass Shear Strength. Technical Report S-72-12, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

بمجرد طباعة النسخة الإلكترونية من هذا المستند فإنها تصبح غير خاضعة للرقابة وقد تصبح نسخة قديمة، يرجى الرجوع إلى نظام إدارة المحتوى المؤسسي للحصول على آخر إصدار لهذا المستند.
إن هذا المستند ملكية خاصة لهيئة كفاءة الإنفاق والمشروعات الحكومية، ويخضع للقيود الموضحة بالإشعار الهام من هذا المستند