جمهورية مصر العربية
وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

# الكود المصرى
# لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات
## كود رقم ٢٠٢ - ٢٠٠١
## ECP 202 - 2001

الجزء التاسع : ٩/٢٠٢
الأعمال الترابية ونزح المياه

اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصرى
لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات

طبعة ٢٠٠٧

# قرار وزارى
# رقم (١٣٩) لسنة ٢٠٠١
# فى شأن الكود المصرى
# لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات

## وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

- بعد الإطلاع على القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بشأن أسس تصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٠٩٧ لسنة ١٩٦٩ فى شأن تحديد أسس تصميم وشروط استكشاف الموقع وتحديد خواص التربة واختباراتها .
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٠٩٧ لسنة ١٩٦٩ فى شأن أسس وشروط وتحديد إجهادات التحميل المسموح بها فى حالة الأساسات العادية .
- وعلى قرار السيد رئيس الجمهورية رقم ٤٦ لسنة ١٩٧٧ بشأن مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى .
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٤٨ لسنة ١٩٨٦ فى شأن تشكيل اللجنة الدائمة للكود المصرى للأساسات .
- وعلى القرار الوزارى رقم ٤٩٢ لسنة ١٩٩٦ بتشكيل اللجنة الرئيسية لأسس التصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلى القرار الوزارى رقم ٤٩٤ لسنة ١٩٩٦ فى شأن تشكيل اللجنة الدائمة لأسس تصميم وشروط تنفيذ الاساسات وميكانيكا التربة .

- وعلى قرارات وزير الإسكان والمرافق أرقام ١٩٤، ١٩٥، ١٩٦، ١٩٧، ١٩٨، ١٩٩، ٢٠٠، ٢٠١، ٢٠٢، ٢٠٣ لسنة ١٩٩٥ في شأن أجزاء الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات .
- وعلى مذكرة السيد أ.د/ رئيس اللجنة الدائمة للكود والسيدة أ.د. / رئيس مركز بحوث الإسكان والبناء بشأن إصدار القرار الوزارى بنشر الكود .

## قـــــرر

مادة (١): يستبدل الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات بأجزائه العشر الصادرة بقرار وزير الإسكان والمرافق أرقام ١٩٤، ١٩٥، ١٩٦، ١٩٧، ١٩٨، ١٩٩، ٢٠٠، ٢٠١، ٢٠٢، ٢٠٣ لسنة ١٩٩٥ وذلك بالكود المرفق لهذا القرار بأجزائه العشر والمتضمنة تعديل وتطوير وتحديث الأجزاء الصادرة بالقرارات الوزارية المشار إليها .

مادة (٢): تلتزم الجهات المعنية والمذكورة فى القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بتنفيذ ما جاء بهذا الكود .

مادة (٣): تتولى اللجنة الدائمة للكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات اقتراح التعديلات التى تراها لازمة بهدف التحديث كلما دعت الحاجة لذلك . وتعتبر التعديلات بعد إصدارها جزءا لا يتجزأ من الكود .

مادة (٤): يتولى مركز بحوث الإسكان والبناء المشار إليه العمل على نشر ما جاء بهذا الكود والتعريف به والتدريب عليه .

مادة (٥): ينشر هذا القرار فى الوقائع المصرية ويعتبر نافذا من تاريخ النشر .

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

استاذ دكتور مهندس / محمد ابراهيم سليمان

## ٩/ الأعمال الترابية ونزح المياه

يهدف هذا الجزء من الكود الخاص بالأعمال الترابية ونزح المياه إلى وضع أسس التصميم المتعلقة بهذه الأعمال وتحديد طرق التنفيذ المختلفة وتوصيف المعدات المستخدمة بغرض توفير الأمان اللازم للممتلكات والأراضى المجاورة أثناء وبعد الإنشاء .

ويحتوى هذا الجزء على إحدى عشر باباً تتضمن تشكيل وتسوية القطوع cuttings والجسور وأعمال الحفر والردم والدمك compaction. كما تشمل أنواع المعدات اللازمة وطرق تشغيلها وكيفية صيانة وحماية الميول بالإضافة إلى أعمال الخنادق وطرق الحفر فى الصخر .

ويتعرض الباب الأخير لموضوع نزح المياه الأرضية وطرق التحكم فيها حيث يوضح أسس سريان المياه الأرضية وتأثيرها على التربة وأعمال الحفر . كما يبين وسائل خفض المياه الأرضية لتجفيف مواقع الإنشاء والطرق المختلفة لضخها .

### ١/٩ تشكيل وتسوية القطوع والجسور

ويشتمل هذا الجزء على طبيعة الموقع والفحوص اللازمة لدراسته والاعتبارات الاقتصادية والبيئية وكذلك مخاطر الانهيار وتغير الشكل deformation المقبول.

### ١/١/٩ طبيعة الموقع والفحوص اللازمة لدراسته

#### ١/١/١/٩ إعتبارات بيئية

#### ١/١/١/١/٩أ ثبات الموقع

توجد عدة عوامل قد تؤثر على ثبات موقع ما من المزمع القيام بأعمال ترابية به . فقد يكون الموقع بطبيعته فى حالة عدم ثبات ، أو قد ينتج عن تشكيل قطع أو إنشاء جسر عدم ثبات التربة تحته أو حوله بعد أن كانت فى حالة ثبات . كما أن وجود قنوات مدفونة أو مجارى مياه watercourses سابقة أو برك ponds مردومة بمواد قابلة للانضغاط قد يؤثر سلبا على ثبات العمل الترابى . وقد تتسبب الأعمال الترابية فى إعاقة أو تغيير الاتجاه الطبيعى لسريان المياه السطحية أو الأرضية مما يؤدى إلى تغيير فى مناسيب المياه . لذلك يجب أن يؤخذ فى الاعتبار تأثير هذا التغيير فى نظم الصرف الطبيعية ومناسيب المياه الأرضية على الأعمال والمنشآت

الموجودة بالمنطقة . وبالإضافة إلى ذلك يجب دراسة تأثير وجود أى فجوات أرضية وتحول المياه السطحية أو الأرضية نحوها نتيجة الحفر على نحر erosion التربة أسفل سطح الأرض وعلى انهيار التقبية arching الطبيعية أعلى هذه الفجوات .

**٩/١/١/١/ب التلوث**

قد يكون من الضرورى اتخاذ احتياطات لمنع تلوث البحيرات أو مجارى المياه الطبيعية الناتج عن سريان المياه أو ضخها من موقع الأعمال الترابية فى ردم أو فى تربة دقيقة الحبيبات مثل الطباشير chalk أو الطين الجيرى marl . وإذا تطلب الأمر، يجب عمل خنادق أو مواسير صرف لتجميع المياه السارية وتحويلها إلى أحواض ترسيب لترسيب المواد العالقة بها قبل تصريفها فى مجرى طبيعى للمياه . ومن الممكن إضافة جرعات من مواد كيميائية إلى هذه الأحواض لتسهيل عملية ترسيب المواد العالقة الدقيقة أو لمعادلة حمضية المياه المجمعة .

أما فى حالة نقل التربة، فيجب الاهتمام بعدة عوامل مثل تلوث الهواء بالغبار والضجيج وتناثر الوحل mud أو التربة المفككة على الطرق العامة . وقد يكون هناك حاجة إلى الحصول على تصريح من السلطات المحلية ( انظر البنود ٩/٤/٦/٥ و ٩/٤/٨ ) .

**٩/١/١/٢ التقييم الميدانى للمشروع**

**٩/١/١/٢/أ تجميع البيانات المتوفرة**

تشمل البيانات الأولية التى يمكن تجميعها عن المشروع كل من الدراسات الجيولوجية وقطاعات الحفر وتقارير استكشاف الموقع وتاريخ الموقع وسجل استخدامه والخرائط والصور الجوية للموقع . ويؤدى تجميع هذه البيانات الأولية إلى تخطيط سليم لاستكشاف الموقع وخفض تكاليفها بقدر يعتمد على كم البيانات المتوفرة. وإذا تبين من الدراسة الميدانية احتمال تأثر الموقع بعمليات التعدين أو التنقيب فى باطن الأرض سواء فى الماضى أو الحاضر أو المستقبل ، فيجب استشارة مهندس متخصص ذى خبرة بطبيعة المنطقة.

**٢/١/١/٩/ب استطلاع الموقع**

عند استطلاع الموقع site reconnaissance ( أنظر بند ٢/١ بالجزء الأول من الكود: دراسة الموقع ) ، يمكن الحصول على معلومات مفيدة من الفحوص المحلية. ويعتبر هذا الاستطلاع جزء حيوى للتقييم المبدئي للمشروع ويجب استكماله بعناية قبل البدء فى أى أعمال ترابية رئيسية، فبملاحظة تشكيلات سطح الأرض landforms ودراسة الصور الجوية يمكن الاستدلال على وجود انخساف أو زحف أو انزلاقات أرضية سواء قديمة subsidence , creep or landslides أو حديثة . كما يجب إجراء دراسة شاملة لنظم الصرف القائمة والتى يمكن أن تتأثر بالأعمال المقترحة، وكذلك يمكن الحصول على معلومات أخرى مفيدة عن طريق فحص التراكيب الجيولوجية وحالة الثبات لقطوع الطرق أو المسكك الحديدية القائمة والتى يكون تكوينها الجيولوجى مشابها لتكوين منطقة المشروع . هذا وفى حالة أهمية جيولوجية المنطقة بالنسبة للأعمال الترابية ، يفضل تلخيص كافة المعلومات المتعلقة بها على خريطة جيولوجية للمنطقة يتم رسمها بمقياس رسم مناسب .

**٢/١/١/٩/ج إعداد خطة استكشاف الموقع**

بعد دراسة البيانات المتوفرة والمعلومات التى تم الحصول عليها من استطلاع الموقع وما يتعلق منها بتخطيط وقطاعات الأعمال الترابية المتوقعة ، يمكن تقدير كمية المعلومات التى يجب الحصول عليها من الدراسة التفصيلية للموقع . وبالتالى يمكن إعداد برنامج استكشاف قطاع التربة إلى العمق والامتداد الأفقى اللازم وبرنامج الاختبارات الحقلية والمعملية للتربة والصخور الضرورى للحصول على بيانات عن خواصها المتعلقة بتصميم وتنفيذ الأعمال الترابية . ويجب أن تتوفر فى البرنامج المرونة الكافية مع إمكانية التنفيذ على مراحل حتى يتسنى تعديل بعض بنود البرنامج أثناء تنفيذ المشروع إذا لزم. فمهما كانت دقة البيانات التى بنى على أساسها البرنامج الأصلى، يمكن أن يختلف قطاع التربة طبقاً للدراسة التفصيلية عما كان متوقعا .

ويجب أن يتابع المهندس المسئول عن أبحاث التربة العمل الحقلى لكى يجرى تعديلات على البرنامج المقترح حسبما يتطلب الوضع . فمثلاً عندما يتبين انتظام طبيعة وخواص التربة يمكن تقليص حجم الأعمال في البرنامج ، والعكس صحيح إذ يمكن زيادة حجم هذه الأعمال فى حالة التغير السريع فى طبيعة وخواص التربة . ويجب أن يكون الغرض الأساسى من ذلك هو تجنب

الحاجة الى مزيد من الاستكشاف فيما بعد لتعويض أى نقص يظهر فى المعلومات المتجمعة خلال أعمال الاستكشاف الرئيسية للموقع.

### ٣/١/١/٩ إستكشاف الموقع

#### ٣/١/١/٩/أ مقدمة

يتم استكشاف الموقع عن طريق حفر الاختبار trial pits والخنادق trenches والبيارات shafts والجسات والطـــرق الجيوفيزيائية، وتوضح البنود ٣/١/١/٩/ب ، ٣/١/١/٩/ج أهمية استخدام كل من هذه الطرق بالنسبة إلى تصميم وتنفيذ الأعمال الترابية .

#### ٣/١/١/٩/ب حفر الاختبار والخنادق

تعتبر حفر الاختبار والخنادق سواء المحفورة يدويا أو ميكانيكيا من الطرق السريعة والاقتصادية للحصول على بيانات تفصيلية للتربة حتى عمق يمكن أن يصل إلى ١٠ متر . وتصلح هذه الطرق فى المناطق التى يكون القطع cut أو الردم بها غير عميق وكذلك فى حالة الكشف عن السمك والامتداد الجانبى لطبقة سطحية من تربة تحتاج الى احتياطات خاصة. كما تستخدم حفر الاختبار لمعرفة ظروف تربة التأسيس للمنشآت الخفيفة المتعلقة بالأعمال الترابية ولتقدير حجم المشاكل المرتبطة بسند جوانب الحفر وبوجود المياه الأرضية عند حفر الخنادق سواء للصرف أو للمرافق . كذلك تفيد هذه الطرق فى مرحلة التخطيط للأعمال الترابية ، خاصة عندما يتضح من الفحص البصرى أن التركيب الجيولوجى عامل مؤثر فى اختيار طريقة تنفيذ الحفر.

وتعد حفر الاختبار والخنادق من الطرق المفيدة فى استكشاف مناطق الانزلاقات الأرضية أو الزحف أو الترسيبات السفحية colluvial deposits ذات العمق الضحل وكذلك مستويات القص المتعلقة بها . ويمكن عن طريقها التعرف على قطاعات التربة بهذه المناطق وأخذ عينات منها . كما يمكن إجراء اختبارات في الموقع مثل اختبارات صندوق القص الكبير على مستويات القص المكشوفة فى الخنادق مما يؤدى الى الحصول على معلومات عن مقاومة القص الواجب استخدامها فى تصميم الأعمال العلاجية أو فى تقدير الآثار المحتملة للإنشاءات الجديدة . ومن ناحية أخرى يمكن الحصول على عينات كتلية block samples من التربة غير المقلقلة التى تحتوى على مستويات قص لإجراء الاختبارات المعملية عليها .

٩/١/١/٣/ج البيارات

فى حالة التخطيط لاستكشاف أعماق كبيرة مثلما يحدث فى حالة القطوع الرئيسية يحتمل ألا يتضح التركيب الجيولوجى من الجسات بتفصيل كاف لتقييم ثبات التربة. عندئذ يمكن استخدام بيارات عميقة يتم حفرها سواء يدويا مع سند الجوانب بألواح خشبية أو ميكانيكيا مع السند بأغلفة حديدية وذلك للحصول على وسيلة للفحص البصرى للتربة أو الصخر . كذلك يمكن إجراء اختبارات تحميل اللوح الأفقى عند قاعة البيارات العميقة أو اختبار تحميل اللوح الرأسى فى ممرات أفقية headings متفرعة منها . هذا وتعتبر الخبرة المكتسبة فى حالة تغويص sinking البيارت ، خاصة ما يتعلق منها بمعدلات ضخ المياه الأرضية ، مفيدة فى تقدير مدى المشاكل المطلوب مواجهتها لخفض المياه الأرضية أو معالجة التربة فى حالات الحفر العميق . ويوضح البند ٩/٨/١٠ الطرق المختلفة لتغويص البيارات.

٩/١/١/٣/د الجسات

تستخدم طريقة الحفر بالبريمة augering أو التثقيب بالطرق percussion فى عمل جسات بالتربة والصخور الضعيفة جداً (انظر جدول ١-٧ بالجزء الأول من الكود: دراسة الموقع) . ويجب أن يكون قطر ثقب الجسة كافيا لاستخراج عينات غير مقلقلة من التربة ، أما فى حالة التربة ذات التركيب النسيجى الخاص macro- fabric مثل التربة التى تحتوى على شقوق fissures أو رقائق laminations فيمكن استخراج عينات ذات قطر كبير (كقطر ٢٠٠ مم أو ٢٥٠ مم) وإجراء اختبارات معملية خاصة عليها .

ويتم الاستكشاف فى الصخر عن طريق التثقيب الدورانى rotary drilling والحصول على عينات لبية core samples . ويجب أن يسمح قطر ثقب الجسة بالحصول على عينات مستمرة للصخر وكذلك لكل المواد الضعيفة جدا والقابلة للتفتت friable . وبعد استخراج العينات اللبية يجب كتابة بياناتها ثم وضعها فى صناديق لتخزينها ولنقلها للمعامل .

ويجب أن يصل عمق حفر الجسات إلى منسوب أسفل قاعدة القطوع المقترحة بحيث يسمح باستكشاف كل المناطق المعرضة لعدم الثبات ( انظر الجزء الثامن من الكود : ثبات الميول ) . كما يجب أن يصل عمق الجسات فى مواقع الجسور إلى ما لا يقل عن ١,٥ عرض قاعدة الجسر

ما لم يتواجد على عمق أقل طبقة من الصخر أو التربة القوية ذات قابلية انضغاطية ضعيفة نسبياً ويتم التحقق من سمك واستمرارية هذه الطبقة.

ويجب أن تكون الجسات داخل حدود القطوع والجسور ، وربما يلزم عمل جسات خارج حدود هذه الأعمال الترابية وذلك لاستكشاف كل المناطق التى تتأثر بهذه الأعمال.

أما عند التوصية بخفض المياه الأرضية بمناطق الحفر أو التوصية بقواطيع cut-off لسريان المياه إلى الحفر ، فيجب أن تخترق الجسات التكوين الحامل للماء بالكامل ثم تمتد لتحديد سمك واستمرارية الطبقة غير المنفذة أسفل التكوين .

ويعتبر مدى التغير فى مستوى المياه الأرضية هام لتحليل معظم مسائل ثبات الميول، ولكن يتعذر فى العادة الحصول على معلومات مؤكدة عن ظروف المياه الأرضية من خلال عملية ثقب الجسات أو خلال الفترات الزمنية القصيرة عقب توقف عمليات الثقب. لذلك يجب تركيب بيزومترات أو مواسير قائمة standpipes بسيطة لقياس مناسيب مستوى الماء عند أماكن الجسات التى يتم اختيارها لملاحظة المياه الأرضية دورياً. ويجب تسجيل هذه الملاحظات يوميا أثناء فترة دراسة الموقع ثم أسبوعيا أو شهريا بعد ذلك لأطول فترة ممكنة قبل تنفيذ الأعمال الترابية ، ويفضل ألا تقل هذه الفترة عن عام حتى يمكن ملاحظة التغيرات الموسمية فى المياه الأرضية . وعند وجود عدة طبقات حاملة للمياه الارضية يفصل بينها طبقات غير منفذة ، تركب بيزومترات فى كل طبقة حاملة على حدة .

ويمكن إجراء اختبارات نفاذية بالموقع فى الجسات لتقدير معدل سريان المياه الأرضية من جوانب القطوع أو تقدير معدلات الضخ من الحفر العميق أسفل منسوب المياه الأرضية .

### ٩/١/١/٣/هـ استكشاف التحركات الأرضية العميقة

لتحديد مستويات القص الموجودة على أعماق ضحلة نسبيا يرجع إلى بند ( ٩/١/١/٣/ب) الخاص باستخدام حفر الاختبار والخنادق. ولكن لارتفاع تكلفة هذه الطرق مع العمق ، يمكن استخدام مبينات الانزلاق slip indicators أو مقاييس الميل inclinometers التى توضع فى ثقوب الجسات عند الشك فى وجود تحرك أرضى أو فى أن هناك تحرك على وشك الوقوع .

ويعتبر مبين الانزلاق من الأجهزة البسيطة والمناسبة لحالات التحركات السريعة نسبيا ، ولكن يعيبه عدم القدرة على اكتشاف التحركات صغيرة القيمة أو تحديد قيمة التحركات الكبيرة. أما مقياس الميل ، فيمكنه بيان الاتجاه الدقيق الذى حدث فيه قص للتربة فى الفترة بين قياسين متتاليين، كما يستخدم مقياس الميل لقياس التحركات الأفقية عامة تحت سطح الأرض بالإضافة إلى تحديد موضع مستويات القص. ويناسب هذا الجهاز الحالات التى يكون فيها معدل التحرك ذا قيمة قليلة أو فى الأماكن التى يتوقع فيها حدوث تحرك . ولكن عندما يكون التحرك سريعا نسبيا لا يتمكن مقياس الميل من متابعة ذلك التحرك عبر مستوى القص.

وأهم ما يجب الاهتمام به عند استخدام مقياس الميل هو ملء الفراغ بين جوانب الحفر وماسورة تغليف المقياس ، وأفضل طريقة لذلك هى حقن grouting هذا الفراغ . ويلاحظ أنه إذا لم تتم عملية الملء هذه بكفاءة وأصبحت ماسورة التغليف حرة داخل الفراغ سيسجل الجهاز قيم عشوائية للتحركات الأرضية .

**٩/١/١/٣/و الطرق الجيوفيزيائية**

تستخدم الطرق الجيوفيزيائية ( انظر البند١ /٧ بالجزء الأول من الكود : دراسة الموقع) للحصول على شكل طبقات التربة أو الصخر عندما يكون للتكوينات المتتابعة اختلافات جوهرية فى خواصها الجيوفيزيائية مثل سرعتها السيزميـــة seismic velocity أو مقاومتـــها الكهـــربائية electrical resistivity . ويمكن تنفيذ المسح الجيوفيزيائى بسرعة نسبيا كما يمكن أن يصبح ذلك المسح طريقة اقتصادية للاستكشاف أسفل سطح الأرض بالنسبة لمشروعات الأعمال الترابية بشرط مناسبة ظروف الأرض واستعمال الطرق الفنية المناسبة ومعايرة وربط بيانات المسح بواسطة عدد كاف من الجسات . ويمكن استخدام الطرق الجيوفيزيائية لتحديد مكان سطح الصخر الذى لم يتأثر نسبيا بالتجوية weathering والموجود أسفل تكوينات رسوبية أو صخور متجوية .

ويمكن إنزال معدات مسح جيوفيزيائى فى ثقوب الجسات والحصول على تسجيلات مستمرة للسرعة السيزيمية والمقاومة الكهربائية والكثافة ومحتوى الرطوبة والتركيب المعدنى للتربة والصخور . ومن هذه التسجيلات يمكن استنتاج خواص طبيعية أخرى للتربة . كما يمكن الاستفادة من ثقوب الجسات فى الكشف التفصيلى على التربة .

وكذلك يمكن استخدام المسح الجيوفيزيائى عند توفر الظروف المناسبة لتحديد ورسم خرائط للفجوات فى باطن الأرض سواء الناتجة عن تحال بعض الصخور أو الناتجة عن أعمال التعدين.

### ٩/١/١/٣/ز مراعاة قواعد الأمان

يجب الاهتمام بتوفير كافة الظروف للعمل بأمان خلال فترة تسجيل الملاحظات وإجراء الاختبارات الحقلية فى حفر الاختبار أو الخنادق أو البيارات.

### ٩/١/١/٤ الاختبارات الحقلية والمعملية

من الضرورى أن يؤخذ فى الاعتبار عند وضع برنامج للاختبارات الحقلية والمعملية مدى أهمية هذه الاختبارات لمشروع الأعمال الترابية وإجراء الاختبارات التى تتعلق بمشاكل التصميم والتنفيذ.

ويجب اختيار الاختبارات الأكثر تمثيلا للظروف الحقلية المتوقعة . وإذا كان من الممكن قياس بعض المعاملات بالطرق المعملية أو بالطرق الحقلية الأكثر دقة والأكثر تكلفة من الطرق المعملية يتطلب إجراء الاختبارات الحقلية وجود مبرر قوى فى ضوء حجم الأعمال الترابية والنتائج المترتبة على انهيار هذه الأعمال . وبالمثل فإنه من الضرورى وجود مبرر اقتصادى لإجراء بعض الاختبارات المعملية الأكثر دقة وأعلا تكلفة.

ويجب تقدير مقاومة القص وخصائص الصرف والتضاغط consolidation لطبقات التربة كلما أمكن ذلك من خلال تحليل سلوك التربة فى الحقل بطريقة التحليل التراجعى back analysis خاصة عند وجود حالات سابقة لعدم الثبات بالموقع .

### ٩/١/١/٥ استمرار الاستكشاف أثناء التنفيذ

من المعلوم أن استكشاف الموقع مهما بلغت دقته لا يعطى صورة كاملة عن خواص التربة بالموقع . ولذلك فإنه من الضرورى التحقق خلال عملية الحفر أن ظروف التربة متمشية مع تلك التى بنى على أساسها تصميم الأعمال الترابية طبقا لنتائج استكشاف الموقع . وقد يكون من الضرورى استكمال الاستكشاف أثناء التنفيذ لتحديد مدى الاختلاف فى ظروف التربة .

## ٢/١/٩ الاعتبارات الاقتصادية والبيئية

### ١/٢/١/٩ مقدمة

يجب أن يؤخذ تأثير الأعمال الترابية على الشكل العام للموقع landscape . ويجب كلما أمكن تحاشى تغيير النتوءات scars على جوانب التلال أو الحزوز notches على قمم الميول ويجب أن تتغير ميول القطوع والجسور لكى تنسجم مع خطوط الكنتور للأرض المجاورة مع تجنب الخطوط المستقيمة والتغيرات المفاجئة فى المقاطع الجانبية profiles .

ومن المفضل اقتصاديا إيجاد توازن بين كميات الحفر والردم داخل حدود الموقع . بالإضافة الى أن ذلك يعد وسيلة للحد من التأثير على المناطق المحيطة. وحيث أنه يندر الوصول إلى هذا التوازن فقد يتطلب الأمر الحصول على كميات إضافية من المواد المناسبة وكذلك التخلص من الكميات الزائدة أو غير المناسبة من التربة .

وتعتبر المعلومات التى تم الحصول عليها من استكشاف ودراسة الموقع ضرورية لتقدير مدى ملاءمة التربة المتاحة للاستخدام فى الأعمال الترابية . ويجب أن يؤخذ تأثير الظروف الجوية على المواد فى الاعتبار أثناء استمرار العمل . ففى المواقع التى تحتوى على نسب مرتفعة من المواد التى تعتبر بالكاد مقبولة يجب النظر فى إمكانية الحصول على مواد أقل تأثرا ومناسبة من المتارب orrow pits أو جلب مواد تصلح لكل الظروف الجوية وذلك لتلافى التأخير فى التنفيذ وعواقبه المالية . ويجب أن تكون المتارب قريبة بقدر الإمكان من المشروع حتى يمكن استخدام معدات الموقع فى حفرها وكذلك للإقلال من الضجيج والغبار واختناق المرور وتناثر التربة على الطرق والإضرار بها .

كما يجب أن تكون المقالب tips اللازمة للتخلص من المواد الزائدة وغير المناسبة قريبة بقدر الإمكان من المشروع وقد يكون من الممكن استخدامها فى تحسين الشكل العام للأراضى بالمنطقة. ويجب العناية بموقع مقالب المخلفات لتجنب عدم الثبات العام أو الموضعى للميول . ويمكن أن تؤدى التسوية الكنتورية المعتنى بها إلى تحسين أثر المشروع على المنظر العام المحيط .

ويمكن تشغيل معدات نقل التربة والدمك باستمرارية وكفاءة أفضل عند استخدام ردم مكون من مواد صخرية أو حبيبية جيدة التدرج عنها فى حالة الطين ، فالطين يبقى متأثرا لفترة أطول بالجو الرطب . ولكن عندما تكون المواد من النوع الأول مناسبة كركام يستخدم فى إنتاج الخرسانة

وإنشاء الطرق ، يجب المقارنة والموازنة بين استخدام هذه المواد فى الردم وبين الحاجة إلى توريد ركام فيما بعد .

ويجب أن تبتعد معدات نقل التربة عن الطرق العامة السريعة إلا عند عدم وجود بديل ممكن وذلك للإقلال من التأثير على البيئة المحيطة . واحيانا يمكن السماح ببعض التأثير المؤقت إذا أدت الأعمال الترابية إلى فائدة عامة للمجتمع على المدى الطويل ، مثل إزالة تشوينات صناعية لاستعمالها فى الأعمال الترابية .

كما يجب مقارنة أسعار استخراج مواد جيدة للردم من المواقع المحلية مع أسعار جلب مواد أرخص عبر مسافات طويلة . فرغم أهمية تكاليف النقل فى أى تحليل اقتصادى ، الا أنه يجب أن تؤخذ الفوائد الاجتماعية وتوفير الطاقة فى الاعتبار.

### ٢/٢/١/٩ الحفر والردم للطرق والسكك الحديدية

عادة يتم نقل التربة للطرق والسكك الحديدية عبر شريط ضيق نسبياً من الأرض. ويتحقق التوازن بين القطع والردم فى مرحلة ابتدائية عن طريق دراسة القطاع الطولى ولكن كثيرا ما تفرض قيود على القطاع بسبب الحاجة إلى توفير الخلوص الإجبارى للكبارى أسفل أو أعلى الطرق والسكك الحديدية الموجودة أو إلى التقاطع معهم على نفس المستوى . هذا ويمكن استخدام برامج الحاسبات الآلية لدراسة تأثير تعديل القطاع سواء طوليا أو عرضيا على كميات الأعمال الترابية وكذلك للحصول على الرسومات المناظرة للأعمال الترابية المصممة لتقييم شكلها وأثر ذلك على البيئة.

### ٣/٢/١/٩ الحفر والردم للمطارات والمناطق الاخرى ذات الرصف المكثف

تتوقف مناسيب الكنتور الأعمال الترابية بالمطارات على القطاعات الواجب الالتزام بها لمهابط الطائرات وممراتها طبقا لمواصفات سلطات الطيران المدنى أو الحربى. وقد ينتج عن ذلك أن يصبح سريان المياه السطحية من الأسطح المرصوفة للمهابط والممرات ، خاصة أثناء السيول ، كبيرا جدا . ولذلك يجب العناية بتخطيط كنتور المساحات غير المستخدمة بين المهابط والممرات وكذلك فى المناطق الأخرى من المطار حتى يتجه سريان المياه السطحية إلى المناطق المنخفضة

والتى تعمل عندئذ كخزانات فى أماكن مناسبة لاستقبال وتخزين المياه السارية قبل صرفها من خلال فتحات المصارف المنفذة.

### ٤/٢/١/٩ التجريف والردم الهيدروليكى

رغم أن عملية التجريف والردم الهيدروليكى dredging and hydraulic fill فى المناطق المغمورة تعتبر خارج نطاق هـذا الكود ، إلا أنه يجب النظر في اقتصاديات الحفر للأعمال الأرضية بواسطة جرافة والتخلص من التربة بواسطة الضخ ( الردم الهيدروليكى ) . فقد يكون استخدام الجرافة اقتصاديا للحفر فى التربة المنفذة تحت منسوب المياه الأرضية بشرط تمكنها من الوصول إلى مساحات منطقة العمل ( انظر بند ٩/٣/٧/٣/د ) .

### ٥/٢/١/٩ الكثبان الرملية

يتوقف تحرك الرمل الجاف وتكوين الكثبان الرملية sand dunes أساسا على حركة الريح وكذلك على مقاس الحبيبات والكثافة . لذلك يلزم لدراسة الكثبان الرملية تعيين وردة الرياح wind rose فى المنطقة لمدة عام أو يزيد من بيانات أقرب محطة أرصاد جوية أو من قراءات أنيمومـتر anemometer ، بالإضافة إلى تعيين الخصائص الطبيعية لحبيبات الرمل . كما تتسبب الطبوغرافية والمنشآت والأسوار بالمنطقة فى التغيير الجزئى لنظام تحرك وتكوين الكثبان. كذلك قد تؤثر أنواع من النباتات البيئية على تكوين الكثبان حيث يترسب الرمل حول تلك النباتات المستمرة فى النمو .

## ٣/١/٩ مخاطر الانهيار وتغير الشكل المقبول

### ١/٣/١/٩ مقدمة

يمكن تقدير مخاطر الانهيار من خلال :

١- الحركة نتيجة انهيار قص فى التربة .

٢- التغير غير المقبول فى الشكل قبل الوصول إلى مرحلة الانهيار .

وتقدر مخاطر انهيار القص فى الأعمال الترابية عن طريق حساب معامل الأمان . ويتوقف قبول قيم معاملات الأمان المحسوبة على عواقب الانهيار، فمثلا فى حالة القطوع يجب أن تكون قيمة معامل الأمان عالية إذا كان من نتائج الانزلاق التسبب فى مخاطر لخط سكة حديدى أو لمبانى . بينما يمكن أن يأخذ معامل أمان منخفض نسبيا مقبولا لميول حفر لأساسات مبنى سيتم ردمه بعد الانتهاء من العمل تحت منسوب سطح الأرض وذلك بشرط ألا يتسبب حدوث انزلاق فى أى خطر على الحياة أو على أى مبنى مجاور . وهناك اعتبارات مماثلة بالنسبة لمعاملات الأمان فى حالة الجسور.

وعند اعتبار تغير الشكل فى الأعمال الترابية ، فمن الممكن حدوث تغير كبير بدون الإخلال بأداء الأعمال الترابية ذاتها . إلا أن تأثير هذا التغير على مقاومة القص قد يتسبب فى حدوث انهيار . والمهم فى هذا الخصوص هو تفادى تأثير تغير الشكل على المنشآت المحمولة على أو المجاورة للأعمال الترابية ، واحتمالات أن يزداد تغير الشكل باطراد مع الزمن.

### ٢/٣/١/٩ التأثير على المنشآت المجاورة

قد تحدث أضرار للمبانى القريبة من قدم الجسور نتيجة تغير شكل التربة الجانبى أو انتفاخها ، وقد يتسبب حفر قطوع لطرق أو الحفر لأساسات المنشآت فى تغير لشكل الأرض المحيطة بالحفر فى الاتجاه الرأسى والأفقى مما يعرض المنشآت والمرافق المتواجدة بالموقع للأخطار بما فى ذلك خطوط الغاز الطبيعى . ومن الممكن كذلك أن تتسبب حركة التربة إلى أعلى بسبب اجراء حفر عميق لتنفيذ بدرومات فى حدوث أضرار للأنفاق الموجودة على عمق كبير نسبيا أسفل تلك البدرومات .

وتمتد آثار تغير الشكل مع الزمن بحيث قد تمر عدة سنوات قبل ظهور الآثار الكاملة لتغير الشكل. وفى العادة تكون الحالة الحرجة هى حالة حد التشغيل serviceability limit state للمنشآت المحمولة على أو المتأثرة بالأعمال الترابية وليس الأعمال الترابية نفسها . وفى هذه الحالة تستخدم الطرق التقليدية المطبقة فى الإنشاءات لحساب حالة حد التشغيل بناء على البيانات التى تأخذ فى اعتبارها تغير شكل الأرض المتوقع.

## ٢/٩ القطوع

### ١/٢/٩ اعتبارات عامة

#### ١/١/٢/٩ عوامل بيئية

قد يلزم إنشاء طريق أو خط سكك حديدية على منسوب منخفض عن سطح الأرض فى قطوع وذلك لتخفيض الإحساس بضوضاء المرور ووقعه. كما يمكن أن يصاحب حفر القطع تكوين جسر صغير بجواره يكون بمثابة حاجز للضوضاء. كذلك قد تتطلب الاعتبارات الجمالية والتخطيطية إنشاء طرق النقل الجديدة خلال قطوع بدلا من تقاطعها مع الطرق الموجودة، وبذلك تكون الكبارى العابرة للقطوع فى مستوى سطح الأرض بدون الحاجة الى مطالع أو منازل، وأن كان إنشاء الكبارى تحت الطرق الموجودة أكثر تكلفة وإعاقة للمرور خلال فترة الإنشاء من إقامة كبارى علوية. وقد يكون من الضرورى إنشاء الطرق والسكك الحديدية خلال قطوع مجاورة للمطارات وذلك لتجنب إعاقة مسارات الطيران بالجسور المرتبطة بالكبارى العلوية عند التقاطعات.

أما بخصوص الميول الجانبية للقطوع فيجب أن يؤخذ فى الاعتبار المنظر العام للمنطقة. وقد يكون من الأفضل تغيير زوايا الميل أو تشكيل جوانب محدبة أو مقعرة حتى يكون القطاع متجانس مع الملامح العامة وخطوط كنتور المنطقة المحيطة.

وقد يتسبب تكوين قطوع فى تربة منفذة بها مياه أرضية فى تغير ظروف الصرف فى الأراضى الزراعية المجاورة مما يؤدى الى خسائر فى الإنتاج. لذلك يجب تسجيل مواقع المجارى المائية وتجمعات المياه وأى بيانات أخرى تتعلق بالمياه يمكن الحصول عليها قبل البدء فى العمل وذلك للمساعدة فى معالجة أى أضرار قد تحدث أثناء أو بعد التنفيذ وتقييم أى تعويضات ناجمة عن إقامة القطوع.

#### ٢/١/٢/٩ التخطيط الهندسى للموقع

يجب أخذ العوامل الآتية فى الاعتبار عند تخطيط محاور ومواقع القطوع وعند تحديد قطاعاتها العرضية :

١- ثبات أو عدم ثبات تكوينات التربة المجاورة.

٢- ثبات ميول القطوع (انظر بند ٢/٢/٩).

٣- تأثير الرياح بما في ذلك ترسيب الرمال والنحر.
٤- الصيانة.
٥- النواحي الجمالية.

### ٣/١/٢/٩ الاعتبارات الاقتصادية والاعتبارات الخاصة بالأمان

عادة ما تكون تكلفة إنشاء القطوع أقل ما يمكن إذا كانت زوايا ميل الجوانب أقصى ما يمكن (أى انحدار جوانب القطوع أكبر ما يمكن) ولكن الأمر يتطلب دراسة متأنية للميول مع مراعاة كل من الآثار الاقتصادية والخسائر البشرية في حالة انهيار تلك الميول.
فإذا كان عرض الأرض المسموح إقامة قطوع بها محدودا مما يتطلب استخدام ميول حادة نسبيا للجوانب حيث عواقب الانهيار وخيمة فيمكن تقليل تلك الميول عن طريق إنشاء حائط ساند لجزء من الارتفاع. أما بالنسبة إلى ضرورة توفير عرض كاف عند قدمة الميل لحجز أى مخلفات تتدحرج على الجوانب بالإضافة إلى وضع ماسورة صرف أو مجرى تصريف انظر (٤/٢/٩) وكذلك بالنسبة إلى عمل مساطيح على ارتفاعات متوسطة لحجز المخلفات ، فيمكن عمل مقارنة اقتصادية بين ذلك وبين البديل الذى يتطلب إنشاء حاجز كسور مثلا. ويمكن اللجوء إلى الطرق الميكانيكية لتثبيت التربة أو السطح الصخرى ذى الانحدار الشديد كبديل لإنشاء حائط ساند (انظر ٥/٢/٩).
ويجب مقارنة تكاليف القطوع فى التربة وفى الصخر عند اختيار المحاور الأفقية والرأسية للأعمال كالطرق والسكك الحديدية، فالحفر فى التربة أقل تكلفة من الحفر فى الصخر ولكن كمية الحفر لنفس العمق تكون أكبر بسبب الميل الجانبى الأقل انحدارا فى حالة التربة مع ملاحظة أن صيانة الميول الجانبية لقطوع فى صخر أقل تكلفة فى العادة من صيانة قطوع فى تربة.
وعند حفر قطوع فى صخور تعلوها تربة، يمكن تغير ميل الجوانب لتناسب خصائص كل نوع وبالمثل يمكن تغيير الميول عند تغير نوع التربة. فمثلا يمكن تغيير الميل وجعله أكثر انحدارا فى تربة رملية يليها طين شديد التماسك بشرط التأكد من الثبات الكلى للميل فى المدى البعيد.
وتعد العوامل الاقتصادية من الاعتبارات الهامة فى تصميم الميول المؤقتة لحفر الأساسات إلا أنه عند المقارنة بين تكاليف الحفر الإضافى لضمان الثبات الكامل وبين تكاليف إزالة مخلفات الإنزلاقات الموضعية للمواقع ذات معامل أمان حرج، يجب أخذ عواقب الإنزلاقات الموضعية فى الاعتبار سواء على أمان العاملين فى الإنشاء أو على احتمال الإضرار بالأعمال الدائمة التى

تمت جزئيا أو على المبانى والخدمات القائمة حول قمة الميل. كما يجب أخذ تأثير الزمن على ثبات الميول المؤقتة فى الاعتبار حيث تدرس العوامل المؤثرة على الثبات فى المدى القصير فقط (انظر ٩/٢/٢/٥).

### ٩/١/٢/٤ دليل التصميم الإبتدائى للقطوع فى الصخور

يبين الجدول (٩-١) زوايا الميل المقترحة للصخور المختلفة وذلك للاستعانة بها فى التصميم الإبتدائى لميول ثابتة لجوانب القطوع فى الصخور. وقد تم تحديد قيم هذه الزوايا عن طريق الخبرة المكتسبة من إنشاء قطوع السكك الحديدية وبناء على افتراض أن طبقات الصخر أفقية أو ذات ميل بسيط نسبيا وأن الصخر خلف القشرة السطحية لم يتأثر بالعوامل الجوية.

## ٩/٢ العوامل المؤثرة على ثبات ميول القطوع

### ٩/٢/٢/١ نوعية التكوين (تربة أم صخر)

#### ٩/٢/٢/١/أ مقدمة

يجب الحصول على المعاملات التى تحدد مقاومة القص من التحليل التراجعىback analysis لقطوع وصلت إلى درجة الانهيار أو من الاختبارات الحقلية أو المعملية المناسبة والتى تأخذ فى اعتبارها نفاذية الطبقات المختلفة وكذلك التغيرات فى الإجهادات التى تحدث فى كل طبقة، سواء فى المدى القصير أو المدى الطويل، نتيجة الحفر لتكوين القطوع.ويلاحظ أن الصخور الضعيفة التى تعرضت للعوامل الجوية طويلا لها خواص طبيعية متوسطة بين التربة وبين الصخر، وعند عدم التيقن من سلوكها، يجب أن تجرى تحاليل لثبات الميول منفصلة إحداها على أساس سلوكها كتربة والأخرى كصخر.

#### ٩/٢/٢/١/ب سلوك القطوع فى حالة التربة غير المتماسكة

فى حالة عمل قطوع ذات ميل فى تربة غير متماسكة جافة، فإن الانهيار الأكثر حرجا هو انزلاق انتقالى ضحلtranslational slide موازى لميل القطوع. وفى هذه الحالة فان معامل الأمان ($F_t$) يصبح:

$$F_t = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \qquad (٩-١)$$

تمت جزئيا أو على المبانى والخدمات القائمة حول قمة الميل. كما يجب أخذ تأثير الزمن على ثبات الميول المؤقتة فى الاعتبار حيث تدرس العوامل المؤثرة على الثبات فى المدى القصير فقط (انظر ٩/٢/٢/٥).

### ٩/١/٢/٤ دليل التصميم الإبتدائى للقطوع فى الصخور

يبين الجدول (٩-١) زوايا الميل المقترحة للصخور المختلفة وذلك للاستعانة بها فى التصميم الإبتدائى لميول ثابتة لجوانب القطوع فى الصخور. وقد تم تحديد قيم هذه الزوايا عن طريق الخبرة المكتسبة من إنشاء قطوع السكك الحديدية وبناء على افتراض أن طبقات الصخر أفقية أو ذات ميل بسيط نسبيا وأن الصخر خلف القشرة السطحية لم يتأثر بالعوامل الجوية.

## ٩/٢ العوامل المؤثرة على ثبات ميول القطوع

### ٩/٢/٢/١ نوعية التكوين (تربة أم صخر)

#### ٩/٢/٢/١/أ مقدمة

يجب الحصول على المعاملات التى تحدد مقاومة القص من التحليل التراجعىback analysis لقطوع وصلت إلى درجة الانهيار أو من الاختبارات الحقلية أو المعملية المناسبة والتى تأخذ فى اعتبارها نفاذية الطبقات المختلفة وكذلك التغيرات فى الإجهادات التى تحدث فى كل طبقة، سواء فى المدى القصير أو المدى الطويل، نتيجة الحفر لتكوين القطوع.ويلاحظ أن الصخور الضعيفة التى تعرضت للعوامل الجوية طويلا لها خواص طبيعية متوسطة بين التربة وبين الصخر، وعند عدم التيقن من سلوكها، يجب أن تجرى تحاليل لثبات الميول منفصلة إحداها على أساس سلوكها كتربة والأخرى كصخر.

#### ٩/٢/٢/١/ب سلوك القطوع فى حالة التربة غير المتماسكة

فى حالة عمل قطوع ذات ميل فى تربة غير متماسكة جافة، فإن الانهيار الأكثر حرجا هو انزلاق انتقالى ضحلtranslational slide موازى لميل القطوع. وفى هذه الحالة فان معامل الأمان ($F_t$) يصبح:

$$F_t = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \qquad (٩-١)$$

حيث:

$\phi$ زاوية مقاومة القص المؤثر .

$\alpha$ زاوية الميل .

وهكذا لا يتوقف معامل الأمان على ارتفاع الميل. ولكن فى حالة وجود مياه جوفية داخل كتلة الميل مع استخدام طبقة غير مسامية فوقه لمنع النحر نتيجة لتأثير قوى التسرب فإن الانهيار بالانزلاق الدائرى يكون هو الأكثر احتمالا ( شكل ١/٢/٩). وفى حالة تواجد قوى تسرب موازية للميل (شكل ٩/٢/٢أ وشكل ٩/٢/٢ب) يصبح معامل الأمان ضد انهيار الميل ($F_s$):

$$F_s = \frac{\gamma' \times \tan\phi}{\gamma \times \tan\alpha} \qquad (٢-٩)$$

حيث:

$\gamma$ وزن وحدة الحجوم الكلية .

$\gamma'$ وزن وحدة الحجوم المغمورة .

**٩/٢/٢/١/ج سلوك القطوع فى حالة التربة المتماسكة**

يتوقف ثبات ميل القطوع فى تربة متماسكة على مدى ارتفاع الميل ومقاومة القص للتربة. فكلما زاد عمق القطوع، انخفضت زاوية الميل وازدادت أهمية التاريخ الجيولوجى للتربة. ففى حالة الطين عادى التضاغط أى الطين الذى اكتسب مقاومته بالتضاغط تحت تأثير وزنه فقط، يمكن تحديد الثبات فى المدى القصير من نتائج اختبارات مقاومة القص السريع وبمرور الوقت تقل المقاومة تدريجيا نتيجة حدوث تسرب وانخفاض فى ضغط مياه المسام بعد حفر القطوع. وقد ينهار الميل الثابت فى المدى القصير بانزلاق دائرى فى المدى المتوسط أو الطويل (انظر بند ٩/٢/٢/٥أ).

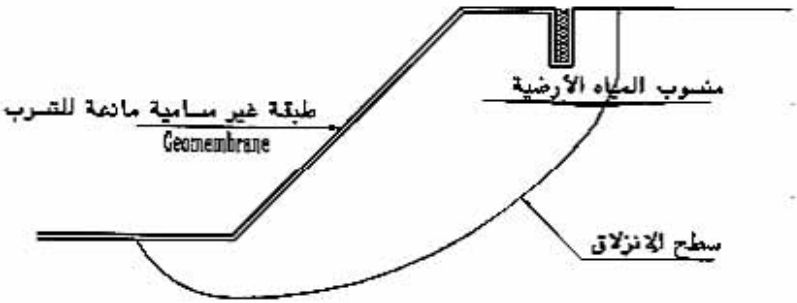
وتوجد أنواع من الطين عادى التضاغط ذات حساسية للقلقلة أى تقل مقاومتها عند إعادة تشكيلها، وقد يحدث انهيار للميل عند حدوث قلقلة ناتجة عن الزلازل أو الاهتزازات المصاحبة لدق الخوازيق أو أى أحمال ديناميكية أخرى.

## جدول ٩-١ جدول تصميم ميول جوانب القطوع وجوانب الجسور والمقترحة فى التصميم الابتدائى

| نوع الصخر | القطوعات : الميول المأمونة (الزوايا منسوبة للأفقى) | الجسور : زوايا الميل الطبيعى (منسوبة للأفقى) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| حجر رملى (مترسب) قوى، كتلى ذو عمر جيولوجى طويل | رأسى أساساً ولكن بعض المناطق قد تتطلب زوايا ٧٠° | ٣٨° -٤٢° | مقاوم بدرجة كبيرة للتجوية. فى حالة وجود عدسات وطبقات رفيعة ضعيفة تحت قصخور قاسية، يمكن أن يؤدى التفاوت فى مقاومة التجوية الى تأكل الطبقة الضعيفة وفى هذه الحالات يجب حماية الصخر الضعيف من تأثير التجوية |
| حجر رملى ضعيف ذو عمر جيولوجى أحدث | ٥٠° - ٧٠° | ٣٣° - ٣٧° | مقاوم بدرجة مقبولة للتجوية وتتوقف مقاومته على صلابته وطبيعة الملء للفاصلة، فمثلا مقاومة الحجر الرملى سيليسى التلاحم أفضل من مقاومة الحجر الرملى جيرى التلاحم |
| مارل | ٥٥° - ٧٠° | ٣٣° - ٣٦° | مقاوم بدرجة كبيرة للتجوية رغم ميل سطحه إلى التقشر لقطع صغيرة، وقد يحدث بعض التلين بمرور الوقت . يجب الاهتمام بالعلاقة بين ميل الحفر والميل الطبقى |
| حجر جيرى قوى كتلى ذو عمر جيولوجى طويل | رأسى أساساً ٧٠° - ٩٠° | ٣٨° - ٤٢° | مقاوم جيد للتجوية ، أحيانا يفكك إلى أحجار كبيرة فحجم عدد الوصلات التى تتعرض للجو ويجب إزالة مثل هذه الأحجار المفككة كل فترة من الزمن |
| حجر جيرى أضعف والحجر الجيرى البطروخى | رأسى أساساً ٧٠° - ٩٠° | ٣٨° - ٤٢° | تختلف هذه الصخور اختلافا كبيرا فى قدرتها على مقاومة التجوية حتى ان بعضها قد يسبب انهيار الطبقات التى تعلوها مما يتطلب استخدام ستائر أو وسائد لحمايتها. |
| طباشير | ٤٥° - ٨٠° | ٣٣° - ٣٦° | الطبقات السفلى تكون فى العادة كتلية ومتجانسة وبالتالى أكثر مقاومة للتجوية من الطبقات الوسطى الأمر الذى يمكن من الحفر بزوايا ميل مأمونة كبيرة فى حالات كثيرة، أما الطبقات العلوية فتكون ضعيفة نسبيا ومشققة وبالتالى تتطلب زوايا أصغر . يجب تشجيع الإنبات كعامل مساعد لتماسك السطح. وفى العادة ينتج عن تأثير التجوية ميل ٤٥ |

جدول ٩-١ جدول تصميم ميول جوانب القطوع فى الصخور وجوانب الجسور والمقترحة فى التصميم الابتدائى (تابع)

| نوع الصخر | القطوعات : الميول المأمونة (الزوايا منسوبة للأفقى) | الجسور: زوايا الميل الطبيعى (منسوبة للأفقى) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| صخور نارية مثل الجرانيت والبازلت | ٨٠° - ٩٠° | ٣٧° - ٤٢° | مقاومة ممتازة للتجوية يمكن ترك جوانب القطوع رأسية بعد إزالة الأجزاء المفككة. يحدث لبعض أنواع البازلت تقشير بسيط بعد تعرضها للتجوية لفترات طويلة. |
| صخور متحولة مثل الجنيس الكوارتزيت والشيست والإردواز | ٦٠° - ٩٠° | ٣٤° - ٣٨° | تعتبر خواص الجنيس والكوارتزيت مشابهة لخواص الجرانيت والحجر الرملى القوى: مقاومة ممتازة للتجوية ويمكن ترك جوانب الحفر رأسية تقريبا. يتعرض الجنيس بشدة للإنشاء. يتدرج الشيست من مادة بيليتية قوية الى جنيس تلكى أو جنيس مايكى والذى قد يكون ضعيفا وذا قوام يتقرب من الطين الصلصالى (شيل)، أما الشيست الأضعف فقد يتأثر بشدة بالتجوية ويميل للانزلاق على مستوى السطح الشيسى surface of schistosity. يتعرض الشيست بكثرة إلى الإنشاء. يعتبر الإردواز صخر دقيق الحبيبات قوى بصفة عامة وله مقاومة ممتازة للتجوية رغم أنها قد تسبب انزلاق على مستوى التقشر. بصفة عامة يتعرض كل من الشيست والإردواز الى التقشر على مستويات تميل بزوايا كبيرة على مستوى الترسيب الطبقى وقد يحدث الزلاق ليس فقط فى اتجاه التقشر ولكن أيضا على مستوى ميل الطبقات الأصلى. مما يسبب مخاطر خاصة حين يكون ميل أى من هذه المستويات فى نفس اتجاه ميل جانب القطوع. |




**شكل رقم (٩-٢-١): سطح الإنزلاق فى حالة منع قوى التسرب فى حالة التربة غير المتماسكة**

وقد تتعرض سيول القطوع فى حالة التربة الطينية عادية التضاغط عالية اللدونة إلى الانهيار بالقبيان heave نتيجة لتأثير وزن التربة المجاورة الذى يدفع طبقات الطين أسفل منسوب الحفر إلى أعلى وبالتالى يحدث انهيار للتربة عند منسوب الحفر. وتعتمد قدرة الطين على مقاومة الانهيار بالقبيان على قيم معادلة قدرة التحمل $N_c$ ، $c_u$. ويجب أن لا يقل معامل الأمان ضد الانهيار بالقبيان عن ١,٥ وفى حالة وجود تأثير لقوى التسرب يجب أن يكون معامل الأمان بين ١,٥ إلى ٢,٠.

ويمكن حساب معامل الأمان ($F_h$) من العلاقة:

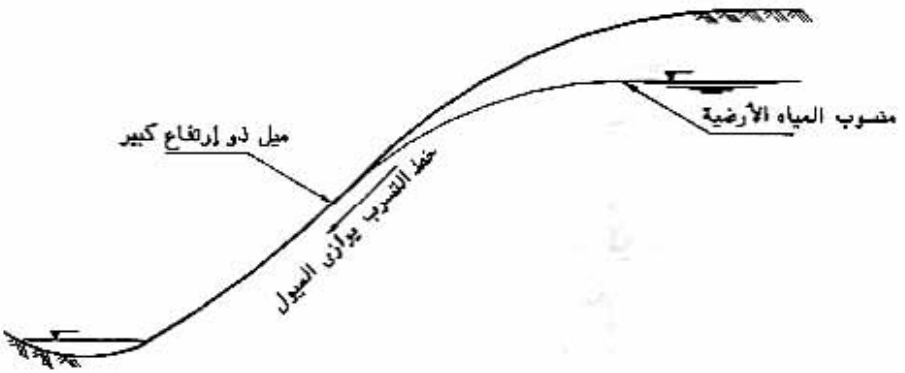
$$F_h = \frac{c_u \times N_c}{\gamma_s \times D} \qquad (٣-٩)$$

حيث:

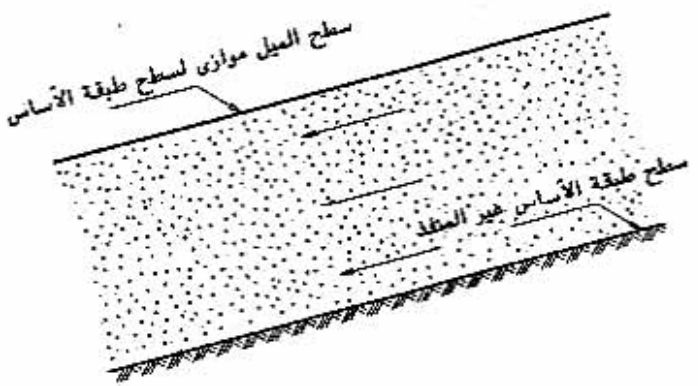
$\gamma_s$ وزن وحدة الحجوم للتربة أعلى منسوب الحفر .

**d** عمق الحفر .

ولتقليل مخاطر الانهيار بالقبيان يمكن استخدام الخوازيق اللوحية الممتدة أسفل منسوب الحفر بحيث تتكون كتلة اتزان من التربة تحت منسوب الحفر تساعد فى تقليل ظاهرة القبيان. كذلك




شكل رقم (٩-٢-٢-أ)




شكل رقم (٩-٢-٢-ب)

خط التسرب موازى للميول الطبيعية فى حالة التربة غير المتماسكة

يمكن استخدام الخوازيق اللوحية بعمق يصل إلى طبقات أكثر جماءة من طبقة الطين عادى التضاغط مما يقلل من قيمة القبان بدرجة ملحوظة.

والطين زائد (سابق) التضاغط، أى الطين الذى اكتسب مقاومته بالتضاغط تحت تأثير ضغط حمل إضافى أو بالتجفيف نتيجة التبخر أو نمو النباتات، يمكن أن يسبب فى مشاكل كبيرة بالنسبة لثبات الميول وذلك لقابلية هذا الطين للتأثر بالتغير فى الإجهادات الناتجة عن حفر القطوع والذى يزداد إذا كان تركيب الطين متشقق أو رقائقى إذ تكون الشقوق والرقائق مستويات ضعف فى كتلة التربة. ويعقب حفر القطوع تفتح الشقوق نتيجة تخفيف ضغط العبء مع تولد شقوق موسمية عند وقرب السطح نتيجة الانكماش بالجفاف. وتكون الشقوق المفتوحة مجارى للماء المتسرب مما يؤدى إلى زيادة الضغط الهيدروستاتيكى خلف السطح عند هطول الأمطار أو تسرب مياه سطحية وبالتالى يحدث تلين للطين على أسطح التشقق، كما أن شقوق الطين زائد التضاغط قد تكون ذات أسطح ملساء بسبب انزلاقات قديمة وبالتالى يكون لها مقاومة قص متبقية أقل بكثير من الطين السليم. ويكون تأثير الزمن حرجاً فى حالة الطين زائد التضاغط (أنظر بند ٥/٢/٢/٩)، أما فى حالة تواجد طمى ذى تلاحم ضعيف بواسطة رابط جيرى فيمكن أن يظل جانب القطوع رأسياً لفترة طويلة ولكن قد ينعدم الثبات إذا أذاب ماء التسرب المادة اللاحمة.

**٩/٢/٢/١/د سلوك القطوع فى حالة التربة ذات المشاكل (تربة إنتفاشية أو انهيارية)**

تتميز التربة الإنتفاشية أو الانهيارية بحدوث تغير فى الحجم نتيجة تغير محتوى الرطوبة، وبالتالى تكون هناك حاجة لاستخدام منشأ ساند لتحقيق ثبات القطوع بتلك النوعيات من التربة. ويجب أخذ سلوك هذه التربة فى الاعتبار عند تصميم أساسات المنشأ الساند خصوصاً عند تعرضها لدورات موسمية من الجفاف والبلل مما ينتج عنه حركة لحبيبات التربة تؤدى إلى حدوث تدهور للمنشأ الساند فى المدى الطويل وبالتالى انهيار القطوع.

**٩/٢/٢/١/هـ سلوك القطوع فى حالة الصخور**

يتوقف ثبات الكتلة الصخرية على حالة التواصل فى الكتلة وليس على مقاومة الصخر السليم، فالتشقق فى الصخور ينتج عن التحركات التكتونية أو التجوية weathering . وسواء كانت الشقوق مفتوحة أو ممتلئة بنواتج التجوية من الصخر الأصلى أو بالتربة المنقولة من أعلى، فإنها تكون مستويات ضعف قد تؤدى إلى انهيارات مختلفة الأشكال. كذلك تؤدى التواصل إلى دخول الماء مما ينتج عنه التأثيرات المذكورة فى البند (٩/٢/٢/٤/ب).

٢/٢/٢/٩ اختيار معاملات التربة والكتل الصخرية لتقدير ثبات ميل القطوع

٢/٢/٢/٩/أ اختيار معاملات التربة

المعادلة الأساسية المستخدمة لحساب مقاومة القص للتربة خلف سطح القطوع هى:

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u) \times \tan\phi' \qquad (٤-٩)$$

حيث :

- $\tau_f$ مقاومة القص على سطح الانزلاق الفعلى أو الحرج .
- $c'$ تماسك التربة أو كتلة الصخر المؤثر .
- $\sigma_n$ الإجهاد العمودى الكلى على سطح الانزلاق الفعلى أو الحرج .
- $u$ ضغط مياه المسام .
- $\phi'$ زاوية مقاومة القص المؤثرة effective .

ولا ترتبط المعاملات $c'$, $\phi'$ فقط بمقاس حبيبات التربة وتكوينها المعدنى وإنما تتوقف أيضاً على الظروف التى تتعرض لها عينة التربة عند إجراء اختبارات القص فى الحقل أو المعمل، وبالتالى يجب التدقيق فى اختيار عينة الاختبار ومكان إجراء الاختبار مع أخذ الآتى فى الاعتبار:

- اتجاه وفترة تأثير تغيرات الاجهاد وتكرار هذه الفترات.
- تغير الشكل المتوقع أو المسموح به فى ميل القطوع.
- ظروف ضغط مياه المسام المتوقعة.

وتعد الاختبارات الحقلية فى التربة المتماسكة والتى يتم إجراؤها فى ثقوب الجسات ذات قيمة محدودة فى تحديد معاملات الإجهاد المؤثر الفعال حيث أن القيم الناتجة تمثل حالة الإجهاد فى التربة وقت الاختبارات بينما القيم المطلوبة هى القيم الناتجة عن تغيرات الإجهاد التالية لحفر القطوع.

ويمكن إجراء اختبار الاختراق القياسى SPT فى ثقوب الجسات فى التربة غير المتماسكة للحصول على تقييم للكثافة النسبية وزاوية مقاومة القص باستخدام العلاقات القياسية الوضعية المنشورة. ورغم أن هذه القيم قد تتأثر بالقلقلة فى ثقب الجسة إلا أنها فى الغالب أكثر تمثيلا للحالة فى الموقع من نتائج الاختبارات المعملية بسبب صعوبة استخراج عينات غير مقلقلة بدرجة معقولة من التربة غير المتماسكة وكذلك صعوبة تحضير هذه العينات للاختبار. وتعطى

اختبارات اختراق المخروط الاستاتيكى فى الغالب قيما أكثر تمثيلا للحالة فى الموقع من تلك الناتجة من اختبارات الاختراق القياسى.

ويمكن استخدام القيم الناتجة من الاختبارات الحقلية فى حسابات الاتزان للتربة غير المتماسكة حيث أن التغيرات فى الإجهاد الناتجة عن حفر قطوع تحدث مباشرة بسبب النفاذية العالية نسبيا للتربة غير المتماسكة وبالتالى لا يحدث تدهور فى اتزان هذه التربة فى المدى الطويل.

ويمكن إجراء اختبار قص المروحة vane shear test بالموقع للطين عادى التضاغط اللين إلى متوسط القوام للحصول على قيم مقاومة القص السريع ومنها يمكن حساب ثبات الميل فى المدى القصير، إلا أن هذه النتائج تصلح للحفر السريع فقط مثل حفر الخنادق. أما فى حالة قطوع الطرق أو السكة الحديد التى يستغرق حفرها أياما أو أشهر، فإن للتغيرات فى الإجهاد تأثير كبير على مقاومة القص خلال فترة الإنشاء، ويجب أن تعتمد حسابات الثبات على معاملات الإجهاد المؤثر الناتجة من الاختبارات المعملية. والجدير بالذكر أن اختبارات قص المروحة لا تأخذ تأثير اختلاف خواص التربة فى الاتجاهات المختلفة فى الاعتبار. ولذلك يمكن استخدام معاملات تصحيح مقاومة القص السريع الناتجة من اختبارات قص المروحة لأخذ تأثيرات الزمن وعدم التماثل فى الاعتبار عندما تكون حالة الثبات مطلوبة لفترة عدة أسابيع فقط.

وتعتبر الاختبارات الحقلية التى تقيس مقاومة القص السريع غير مناسبة لتعيين معاملات مقاومة القص المستخدمة فى حسابات ثبات ميول التربة الطينية فى المدى المتوسط والطويل، فالاختبارات من هذا النوع تقيس مقاومة القص السريع الممثلة للإجهاد على التربة عند مستوى الاختبار بينما ما يحدث عند حفر قطوع هو انخفاض للإجهاد الكلى يليه زيادة فى إجهاد القص وتلين softening للطين. لذلك يجب تحديد معاملات مقاومة القص عند دراسة الاتزان فى المدى المتوسط والطويل من قياسات معملية لتماسك الطين المؤثر ($c'$) وزاوية مقاومة القص المؤثرة ($\phi'$).

ويجب دراسة قطاعات الجسات وتوصيف العينات وربطها بالشكل الهندسى للانزلاق المحتمل كما يجب تحديد الطبقات الحرجة بالنسبة لثبات الميل عند هذه المرحلة. كذلك يجب اختيار عينات لاختبارات القص المعملية من تلك الطبقات الحرجة وإجراء مجموعة من الاختبارات التى تمثل سلوك كتلة التربة فى القطوع عبر الفترة الزمنية التى يجب المحافظة على ثبات القطوع فيها.

**٩/٢/٢/٢/ب اختيار معاملات الكتل الصخرية**

تتوقف مقاومة القص للكتلة الصخرية على مقاومة القص للفواصل مثل الشقوق والفواصل الطبقية ومناطق الفوالق. ومقاومة الصخر السليم تستخدم فى أغراض التصنيف ولا تؤثر على حسابات الثبات للقطوع.

وتتوقف مقاومة القص للفواصل على خشونة وتموج سطحى الصخر عند الفاصل والمسافة بينهما وقوة التماسك بالاضافة إلى مقاومة القص لأى مادة مالئة للفاصل. وقد تتكون الفوالق بالكامل من مواد مالئة ضعيفة.

ويجب الحصول على معاملات مقاومة القص للفواصل من اختبارات القص المباشر على عينات لبيه cores أو كتلية من الصخر معدة بحيث يتم القص عبر الفاصل بالعينة المختبرة. وتعتبر الاختبارات الحقلية غير مناسبة لنفس الأسباب المذكورة بالنسبة للتربة المتماسكة فى البند ٩/٢/٢/٢/١. ويجب إجراء الاختبارات المعملية الممثلة لتغيرات الإجهاد التى تحدث للصخر خلف القطوع بنفس الطريقة المذكورة للتربة المتماسكة. وفى غياب القياسات المعملية يمكن الاستعانة بالقيم المنشورة لمقاومة قص فواصل الصخر.

**٩/٢/٢/٣ تكوين ونسيج التربة والصخور**

**٩/٢/٢/٣/أ تكوين ونسيج التربة**

يجب دراسة تأثير تكوين ونسيج كتلة التربة خلف ميل القطوع على نفاذية التربة، ويجب دراسة اتجاه الفواصل بالنسبة لاتجاه أسطح الانهيار المحتملة. وفيما يلى الحالات النموذجية للتكوين والنسيج التى يجب دراستها.

١- تداخل التكوينات: طبقات الطمى أو الطين فى التربة غير المتماسكة تمنع الصرف فى الاتجاه الرأسى، أما طبقات الرمل والزلط فى التربة المتماسكة فتعجل من الصرف والتضاغط لكتلة التربة، ولكن سريان الماء خلال هذه الطبقات قد يؤدى إلى تآكل موضعى ونحر للميل.

٢- التشقق: سبق بيان تأثير الشقوق ويجب الاهتمام باحتمال اتساع الشقوق نتيجة تخفيف الإجهاد بسبب إنشاء القطوع ونتيجة الانكماش بالتجفيف.

٣- الثقوب الناتجة عن الجذور وخلافه: تكون هذه الثقوب مجارى للصرف وتبدد ضغط مياه المسام، وقد تسمح كذلك بدخول المياه السطحية فى كتلة التربة.

٤- أسطح انزلاق ملساء سبق حدوث انزلاق جزئى عليها: تنتج هذه الأسطح عن التحركات الحديثة أو فى العصور الجيولوجية، وتكون ملساء وذات مقاومة للقص ضعيفة نسبيا.

**٩/٢/٢/٣/ب تكوين ونسيج الصخور**

لتكوين كتلة الصخر تأثير كبير على ثبات ميل القطوع. وفيما يلى العوامل التى يجب أخذها فى الاعتبار:

١- سمك الطبقات: الصخور رقيقة الطبقات أكثر تأثرا بالتجوية والتآكل من الصخور الكتلية سميكة الطبقات.

٢- التبادل الطبقى للصخور الضعيفة والقوية: تتأثر الصخور الضعيفة بالتجوية أسرع من الصخور القوية، مما يؤدى فى حالة الطبقات الأفقية أو شبه الأفقية إلى تآكل طبقة الصخور الضعيفة وانهيار الصخور الكتلية القوية أعلاها.

٣- اتجاه الطبقات ومستويات الفواصل: عندما يكون ميل الطبقات والفواصل فى نفس اتجاه ميل القطوع تزداد مخاطر الانهيار. ويجب دراسة موضع الفواصل بالنسبة لمختلف أشكال الانهيار وأخذ احتمال اتساع الفواصل نتيجة تخفيف الإجهاد والتجوية فى الاعتبار (انظر البند ٩/٢/٢/٥). ويسهل تقدير ثبات الكتلة الصخرية عن طريق رسم اتجاه وميل الفواصل الرئيسية على مخطط بيانى قطبى polar diagram .

٤- حالة أسطح الفواصل: يجب دراستها عند تحديد مقاومة القص الناتجة من اختبارات القص المباشر (انظر البند ٩/٢/٢/٢/ب) .

**٩/٢/٢/٤ المياه السطحية والأرضية**

**٩/٢/٢/٤/أ فى حالة التربة**

يمكن أن تتسبب المياه السطحية السارية على ميل القطوع فى نحر التربة غير المتماسكة أو المتماسكة جزئيا. وفى العادة يتركز النحر فى مسارات قد يزداد عمقها حتى تتحول إلى قنوات منحدرة. أما التربة المتماسكة فليس لها قابلية عالية للنحر إلا فى حالة الطين كثير الشقوق حيث قد يؤدى تسرب الماء الشديد وتليين الطين إلى حدوث انزلاق.

وقد يكون لسريان المياه الارضية تأثير حرج على الاتزان سواء كان فى شكل تسرب من منسوب أرض أعلى خلف القطوع أو فى شكل مياه سطحية تتخلل الشقوق والفجوات. لذلك يجب افتراض ارتفاعات وأشكال مختلفة للسطح الفرياتك phreatic surface الناتج عن سريان المياه نحو

القطوع حتى يمكن تقدير ضغط مياه المسام عند أى نقطة على سطح الانهيار المتوقع وبالتالى يمكن حساب تأثيره على مقاومة القص تبعا للمعادلة رقم (٩-٤).

ويجب مراعاة التغيرات فى ضغط مياه المسام مع الوقت. فقبل حفر القطوع يناظر ضغط مياه المسام منسوب المياه الأرضية الطبيعى أو الضغط الهيدروستاتيكى فى الطبقات المنفذة فى تكوين التربة الطبقى. وبعد حفر القطوع يهبط المستوى البيزومترى بالتدريج بمعدل يتوقف على نفاذية التربة ووجود طبقات غير منفذة تعوق الصرف الرأسى. وفى النهاية يصل ضغط مياه المسام إلى قيمة متزنة تناظر حالة التسرب المستقر steady seepage. وإذا كان ضغط مياه المسام خلف الميل مرتفعاً بدرجة لا تحقق الثبات، فى المدى القصير نتيجة هطول الأمطار. فيجب النظر فى تنفيذ نوع من الصرف لخفض منسوب الماء وتقليل الضغط. (انظر البند ٤/٢/٩).

### ٤/٢/٢/٩/ب فى حالة الصخور

قد تتعرض الميول فى الصخر إلى النحر بسبب سريان المياه السطحية إذا كان الصخر كثير الفواصل أو مكون من حصى حجرى مفكك loose scree . ومن المستحيل التنبؤ بالسطح الفرياتك الحقيقى لسريان المياه الأرضية خلال الصخر ذى الفواصل لأن الماء يسرى خلال مجارى مختارة تبعا للفواصل المفتوحة أو التى تحتوى على مادة مالئة منفذة. لذلك يجب دراسة تأثير مناسيب المياه الأرضية على ثبات الميل باستخدام نماذج models مثالية تغطى أنماطاً مختلفة لسريان المياه، كما يجب مراعاة تأثير تخفيف الإجهاد عندما يكون من المحتمل أن يغير اتساع الفواصل والشقوق من نمط سريان المياه.

### ٥/٢/٢/٩ تأثير الزمن

### ٥/٢/٢/٩/أ الثبات فى المدى القصير والمتوسط والطويل

يؤدى حفر القطوع إلى تخفيف للإجهاد الرأسى والأفقى عند أو خلف الميل أو قدم القطوع وبالتالى ينخفض الإجهاد الكلى ويكون ذلك مصحوبا بتغير إجهاد القص للتربة. وفى العادة يؤدى ذلك إلى انخفاض ضغط مياه المسام داخل الميل (شكل ٩-٢-٣) ويكون تأثير ذلك هو زيادة مؤقتة لثبات الميل.

وبمرور الوقت يرتفع ضغط مياه المسام الى قيم متزنة بسبب تسرب المياه الى مسام التربة من مناطق الضغط البيزومترى المرتفع البعيدة عن تأثير القطوع. ويؤدى زيادة ضغط مياه المسام

خلف الميل إلى قبلان وتلين كتلة التربة وبالتالى انخفاض مقاومتها للقص. ويستمر ثبات الميل فى الانخفاض حتى يصل ضغط مياه المسام خلف الميل إلى قيم متزنة. وبذلك يكون ثبات الميل أكثر حرجا فى المدى الطويل بعد الوصول إلى حالة الاتزان. وفى حالة التربة ذات النفاذية المرتفعة يتغير ضغط مياه المسام بسرعة للوصول إلى حالة الاتزان وبالتالى يتم الوصول إلى الحالة المستقرة المناظرة سريعا، أما فى حالة التربة ضعيفة النفاذية فقد تستمر هذه العملية لوقت طويل يصل أحياناً لعدة سنوات.

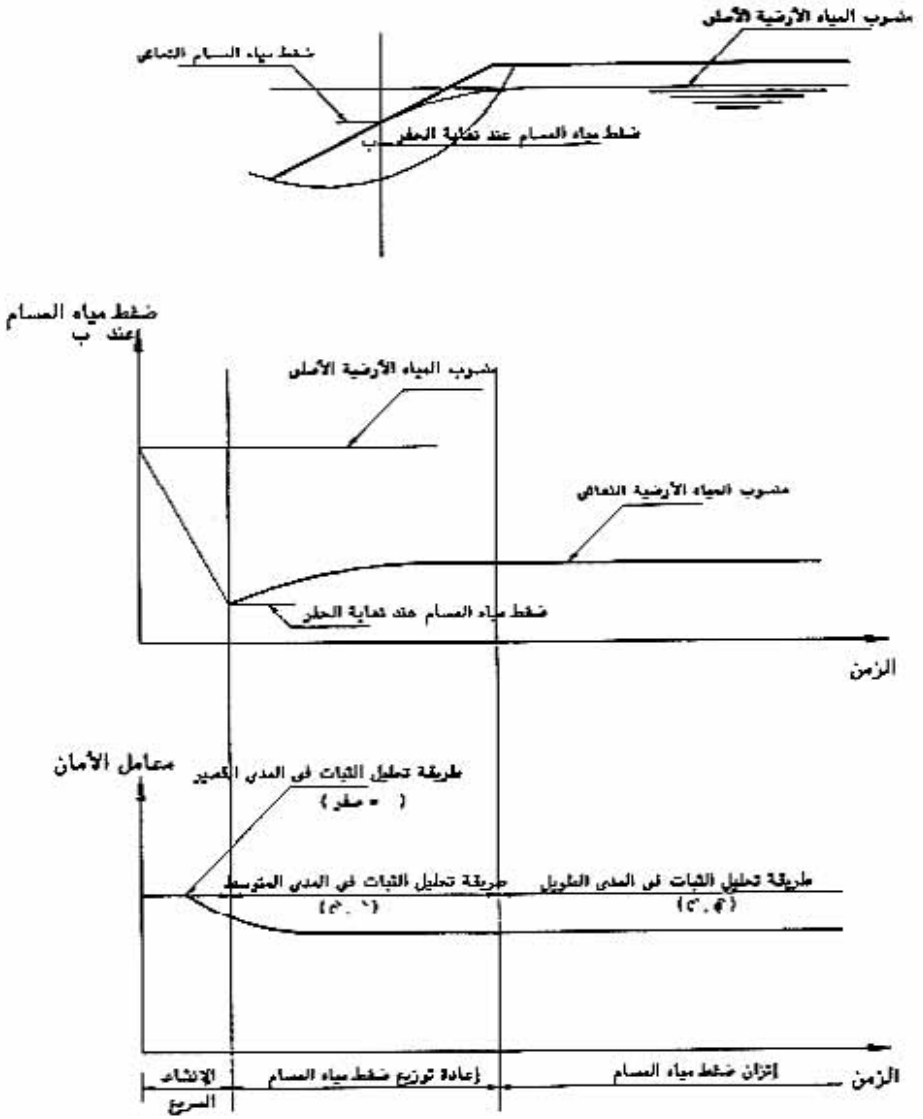
وفى حالة الجسور يزداد الإجهاد الكلى على التربة أسفل الجسر بزيادة ارتفاع الجسر وبالتالى يزداد ضغط مياه المسام وتقل مقاومة القص للتربة. وبذلك تكون حالة الثبات أكثر حرجا خلال الإنشاء وبعد الإنتهاء من الأعمال الترابية مباشرة. وبمرور الوقت ينخفض ضغط مياه المسام الزائد ويستمر ثبات الجسر فى الازدياد حتى الوصول إلى حالة الاتزان (شكل ٩-٢-٤). ويعتبر معامل الانتفاش للتربة فى حالة القطوع ومعامل التضاغط فى حالة التربة أسفل الجسور هو العامل المتحكم فى تحديد معدل تغير ضغط مياه المسام وبالتالى ثبات الأعمال الترابية.

وفى حالة الحفر الضحل نسبيا فى الطين، مثل حفر الخنادق وحفر الأساسات، تقابل زيادة الثبات فى المدى القصير نتيجة الانخفاض المؤقت فى ضغط مياه المسام نقص فى الثبات بسبب اتساع الشقوق الطبيعية فى الطين نتيجة انخفاض الأجهاد وبالتالى فإنه لا يمكن الاعتماد على حالة الثبات فى المدى القصير فى القطوع رأسية الجوانب فى الطين. وعند وجود أى خطر على العاملين أو على المبانى أو المرافق، يجب إما سند جوانب الحفر أو إمالة الجوانب بزاوية تضمن الثبات فى المدى القصير إلى المتوسط.

وهناك اعتبارات مماثلة تنطبق على ثبات ميول الصخور المتأثرة باتساع الفواصل والشقوق نتيجة تخفيف الإجهاد وتأثير الضغط الهيدروستاتيكى داخل الفواصل أو تأثير التغيرات فى ضغط مياه المسام داخل المواد المالئة للفواصل.

### ٩/٢/٢/٥/ب تأثير التجوية

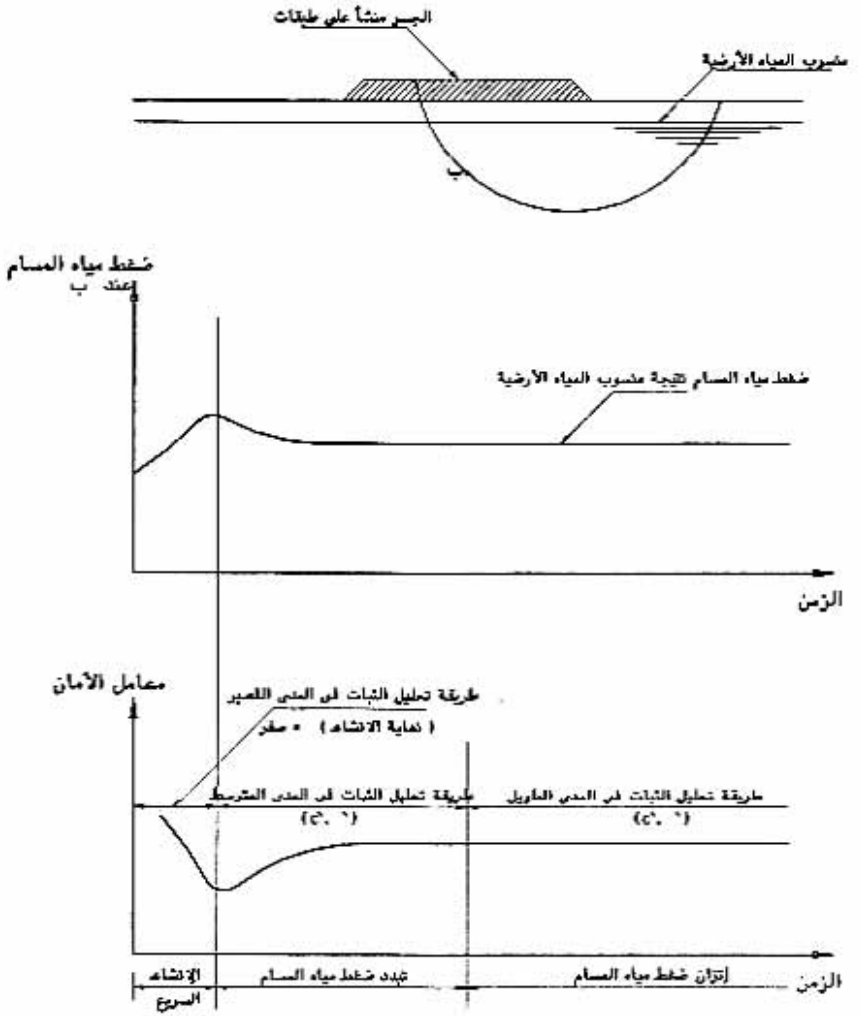
تسبب العوامل الجوية من شمس ورياح وأمطار تآكل ميول التربة والصخر مما يؤدى إلى النحر وتراكم المواد المفككة عند القدم إذا لم تتخذ إجراءات وقائية كما هو مذكور فى بند (٩/٧). كما




**شكل رقم (٩-٢-٣): ثبات ميل القطوع فى المدى القصير و الطويل**

تؤثر التجوية كذلك على ثبات ميول الطين عندما يتسبب الانكماش بالجفاف فى انفتاح الشقوق مما يكون مستويات ضعف ومجارى لدخول الماء. ويعتبر تأثير الانكماش بالجفاف خطرا على ثبات الميل فى الطين عادى التضاغط. ففى العادة تتكون قشرة من المواد متوسطة إلى قوية التماسك

تصبح زائدة التضاغط نتيجة تأثير الجفاف والحياة النباتية، وتحتوى هذه القشرة فى العادة على شقوق ممتدة خلالها. ولذلك لا يصح الاعتماد على مساهمة هذه القشرة فى مقاومة القص الكلية لكتلة التربة . و قد يسبب وجود شقوق رأسية فى القشرة إنهياراً مباشراً بالانقلاب toppling failure فى الخندق المحفور بجوانب رأسية، وفى هذه الأحوال لا يمكن الاعتماد على الثبات فى المدى القصير الناتج عن الانخفاض المؤقت فى ضغط مياه المسام كما هو مبين فى بند ٩/٢/٢/٥/أ.




**شكل رقم (٩-٢-٤): ثبات ميول الجسور فى المدى القصير و الطويل**

### ٦/٢/٢/٩ عوامل أخرى مؤثرة على الثبات

فيما يلى عوامل أخرى يجب مراعاتها بخصوص ثبات ميول القطوع:

١- الحمل الإضافي على الميول surcharge : قد تتعرض الميول أو الأرض المجاورة لقمة الميل لأحمال أضافية بصفة دائمة ناتجة عن منشآت مثل أكتاف الكبارى أو المبانى أو لوح إرشادات الطريق. أو أحمال إضافية مؤقتة ناتجة عن معدات الإنشاء أو تخزين المواد ويجب أن تؤخذ كل هذه الأحمال الإضافية فى الاعتبار.

٢- التأثيرات السيزمية : قد تسبب الاهتزازات الأرضية الناتجة عن الزلازل أو عمليات الإنشاء زيادة مؤقتة فى ضغط مياه المسام خلف الميل مما يتطلب مراعاة تأثير ذلك على مقاومة القص. وقد تتسبب الزلازل فى قلقلة الطين الحساس (انظر ٩/٢/٢/١/ج) مما يسبب انخفاضاً فى مقاومته للقص السريع. كذلك تؤدى الزلازل واهتزازات التفجير إلى اتساع أو قلقلة الفواصل فى الكتلة الصخرية مما يؤدى إلى إضعافها بصفة عامة.

### ٣/٢/٩ تأثير طريقة الإنشاء على ثبات الميل

#### ١/٣/٢/٩ تتابع أعمال الحفر وشكله الهندسى

يجب أن لا تكون الميول المؤقتة أثناء حفر القطوع حادة بدرجة أن تهدد الإنزلاقات الموضعية الناتجة ثبات الميل النهائى الدائم. ويمكن تكوين الميول المؤقتة من مجموعة درجات ذات جوانب شديدة الميل، ولكن بإرتفاع وعرض لكل درجة بحيث لا ينتج ميل مكافىء يتعدى الميل الكلى التصميمى لكامل ارتفاع القطوع وبحيث لا يتسبب فى أخطار على العاملين. وفى المرحلة النهائية للحفر يتم إزالة هذه الدرجات وتهذيب مكانها للوصول إلى القطاع التصميمى النهائى. ولا يجب بأى حال حفر جانب بميل شديد بدرجة تسبب تداعى وانهيار ذلك الجانب.

#### ٢/٣/٢/٩ تأثير المتفجرات

قد تؤدى الاهتزازات الناتجة عن استخدام المتفجرات لتفكيك الصخر أثناء حفر القطوع، إلى إتساع الشقوق والفواصل فى كتلة الصخر مما قد يضر بثبات الميل. ويمكن تقليل اهتزازات التفجير عن طريق توزيع مناسب لثقوب التفجير مع استخدام نظام التفجير الجزئى المتتابع، كما يمكن فى بعض الأحوال تقليل انفتاح الشقوق والفواصل خارج نطاق الحفر عن طريق وسائل التحكم فى التفجير المعروفة باسم الفصل المسبق pre-splitting.

### ٦/٢/٢/٩ عوامل أخرى مؤثرة على الثبات

فيما يلى عوامل أخرى يجب مراعاتها بخصوص ثبات ميول القطوع:

١- الحمل الإضافي على الميول surcharge : قد تتعرض الميول أو الأرض المجاورة لقمة الميل لأحمال أضافية بصفة دائمة ناتجة عن منشآت مثل أكتاف الكبارى أو المبانى أو لوح إرشادات الطريق. أو أحمال إضافية مؤقتة ناتجة عن معدات الإنشاء أو تخزين المواد ويجب أن تؤخذ كل هذه الأحمال الإضافية فى الاعتبار.

٢- التأثيرات السيزمية : قد تسبب الاهتزازات الأرضية الناتجة عن الزلازل أو عمليات الإنشاء زيادة مؤقتة فى ضغط مياه المسام خلف الميل مما يتطلب مراعاة تأثير ذلك على مقاومة القص. وقد تتسبب الزلازل فى قلقلة الطين الحساس (انظر ٩/٢/٢/١/ج) مما يسبب انخفاضاً فى مقاومته للقص السريع. كذلك تؤدى الزلازل واهتزازات التفجير إلى اتساع أو قلقلة الفواصل فى الكتلة الصخرية مما يؤدى إلى إضعافها بصفة عامة.

### ٣/٢/٩ تأثير طريقة الإنشاء على ثبات الميل

#### ١/٣/٢/٩ تتابع أعمال الحفر وشكله الهندسى

يجب أن لا تكون الميول المؤقتة أثناء حفر القطوع حادة بدرجة أن تهدد الإنزلاقات الموضعية الناتجة ثبات الميل النهائى الدائم. ويمكن تكوين الميول المؤقتة من مجموعة درجات ذات جوانب شديدة الميل، ولكن بإرتفاع وعرض لكل درجة بحيث لا ينتج ميل مكافىء يتعدى الميل الكلى التصميمى لكامل ارتفاع القطوع وبحيث لا يتسبب فى أخطار على العاملين. وفى المرحلة النهائية للحفر يتم إزالة هذه الدرجات وتهذيب مكانها للوصول إلى القطاع التصميمى النهائى. ولا يجب بأى حال حفر جانب بميل شديد بدرجة تسبب تداعى وانهيار ذلك الجانب.

#### ٢/٣/٢/٩ تأثير المتفجرات

قد تؤدى الاهتزازات الناتجة عن استخدام المتفجرات لتفكيك الصخر أثناء حفر القطوع، إلى إتساع الشقوق والفواصل فى كتلة الصخر مما قد يضر بثبات الميل. ويمكن تقليل اهتزازات التفجير عن طريق توزيع مناسب لثقوب التفجير مع استخدام نظام التفجير الجزئى المتتابع، كما يمكن فى بعض الأحوال تقليل انفتاح الشقوق والفواصل خارج نطاق الحفر عن طريق وسائل التحكم فى التفجير المعروفة باسم الفصل المسبق pre-splitting.

### ٣/٣/٢/٩ التحكم فى المياه الأرضية

يجب التحكم فى معدل حفر التربة المنفذة الحاملة للماء بحيث يتم المحافظة على التسرب من الميل فى حالة مستقرة فى كل المراحل مع تجنب الخفض السريع لمستويات المياه الأرضية خلف الميل وما يتبع ذلك من مخاطر عدم الثبات. ويجب منع تكون البرك المائية فى منطقة العمل عند قاع الحفر، وقد يتطلب ذلك عمل مجرى مكشوف مؤقت أو مواسير صرف كما هو مبين فى البند ٩/٢/٤/١.

وعند تنفيذ قطوع فى تربة غير منفذة تحتها طبقة تحتوى على ماء تحت ضغط إرتوازى يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث قبيان أو انهيار لقاع الحفر. وإذا كانت وسائل الصرف العادية غير كافية، فقد يكون من الضرورى تخفيض ضغط الماء عن طريق آبار تخفيف.

### ٤/٢/٩ الصرف

### ١/٤/٢/٩ التحكم فى المياه السطحية

قد يكون من المطلوب وضع نظام للصرف أعلى ميل القطوع يتقاطع مع المياه السطحية السارية نحو الحفر ويعيد توجيهها ويمنعها من الهبوط على الميل. وتشكل المجارى المكشوفة أو الخنادق أو مواسير الصرف نظم صرف مناسبة على أن يكون ميل قاعها بقدر الإمكان هو الميل الأمثل طبقا لنوعها ولا يقل عن ١ إلى ٣٠٠ إلا إذا كان الغرض الرئيسى منها هو توفير قدرة تخزينية للجريان السطحى run-off ، ففى هذه الحالة يمكن قبول ميل أقل. وتختلف السعة المطلوبة لهذه المصارف حسب طبيعة التربة وخطوط كنتور الأرض ووجود مصادر مياه كالعيون والمصارف الزراعية والقنوات المائية التى يمكن أن تتأثر بالقطوع. ومن الأفضل تبطين المجارى المكشوفة، ولا يجب استعمال مجارى غير مبطنة بالقرب من قمة القطوع فى حالة تواجد طين قابل للانكماش لأن تسرب المياه خلال شقوق الانكماش قد يسبب عدم ثبات.

ويجب تزويد قدم الميل على جانبى القطوع بقناة مكشوفة أو مواسير صرف مع تشكيل الحفر لتجميع أى مياه سطحية نحوها. ويجب العناية بعدم إضعاف قدم الميل عند إنشاء هذه المصارف. كما يجب تبطين كل المصارف الواقعة عند قدم القطوع والمصممة لتجميع المياه السطحية. وعندما يلزم صرف كل من المياه السطحية والأرضية، فإنه من الأفضل إنشاء مصارف منفصلة لكل منهما. كما يجب ألا تكون القنوات المكشوفة عميقة بحيث تصبح عملية تنظيفها صعبة، والحد الأقصى العملى للعمق فى العادة ١,٢ متر.

ويجب أن لا يقل قطر مواسير الصرف عن ١٥٠مم. وعند استخدامها كمصارف مدفونة توضع مفتوحة الوصلات وقد توضع فوق فرشة خرسانية. كذلك يمكن استخدام مواسير مسامية أو مخرمة كبديل. ويجب ردم خنادق المواسير بالكامل بتربة حبيبية خشنة لا يزيد أقصى مقاس لها عن ٦٠مم. وعند وجود احتمال لتسرب حبيبات التربة المحيطة إلى المصرف يجب استخدام مرشح متدرج بين التربة والردم الحبيبى الخشن، وكبديل يمكن لف المواسير بنسيج مرشح من الألياف الصناعية المتينة. وفى حالة استخدام ردم حبيبى خشن حول مواسير غير منفذة فيجب وصله بغرفة التفتيش أو حفرة التجميع عند النهاية المنخفضة للماسورة وذلك لمنع تراكم المياه الأرضية فى مادة الردم. ويجب إنشاء غرف للتفتيش تحتوى على مصايد للطمى وتسمح بتطهير المواسير، على مسافات تتراوح بين ٥٠ و٩٠ متر. ويجب أن يكون غطاء غرفة التفتيش قابل للفتح لإجراء تفتيش دورى.

وعند إنشاء قطوع فى تربة تحتوى على كبريتات ضارة بخرسانة أو مونة الأسمنت البورتلاندى، يجب استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات فى كل الأعمال الخرسانية واستخدام مواسير فخار أو بى فى سى PVC بدلا من المواسير الخرسانية.

### ٢/٤/٢/٩ مصارف الدعامة الخلفية

تستخدم مصارف الدعامة الخلفية counterfort drains والمعروفة أحيانا باسم مصارف السند كثيرا لمعالجة الإنزلاقات فى القطوع والجسور، وأحيانا يتم استعمالها فى التصميم للوصول إلى ميول أشد انحدارا من تلك الميول الثابتة بدونها وكذلك عندما تكون أسطح الانزلاق المحتملة عميقة. ويعد استخدامها فى الجسور نادرا إلا كعلاج بعد حدوث انزلاق بالفعل.

وتنحصر مهمة مصارف الدعامة الخلفية، وهى خنادق تصريف تصل إلى الأرض الثابتة أسفل سطح الانزلاق وتملأ بكسر حجارة rubble ، فى خفض ضغط مياه المسام مع توفير نوع من السند أو الدعم وبالتالى يزداد ثبات الميل.

وفى العادة يتم استخدام مصارف مساعدة بين مصارف الدعامة الخلفية تأخذ شكل خنادق ضيقة ممتلئة بالأحجار وتمتد ناحية أعلا الميل من نقاط متقابلة على مصارف السند الرئيسية بزاوية ٤٥ درجة تقريبا لتلتقى فى منتصف المسافة بين المصارف الرئيسية . ولا تتعدى أبعاد هذه المصارف المساعده ٠,٧٥ متر عمق × ٠,٥ متر الى ٠,٧٥ متر عرض وذلك على مسافات

تتراوح بين ٣ متر الى ١٠ متر. وتتلخص مهمة المصارف المساعدة فى قطع مسار سريان المياه السطحية على جوانب القطوع وفى زيادة ثبات سطح الميل الترابى.

وعادة يكون الخندق الذى يشكل مصرف الدعامة الخلفية مدرجا. فمثلا فى حالة ميل وليكن ١: ٢,٥ من الممكن أن يكون عرض كل درجة ٢,٥ متر، وارتفاعها ١ مترعلى أن يتراوح أقصى عمق للحفر فى الميول حديثة الحفر بين ١,٥ متر و٢ متر. وعند إنشاء المصارف لمعالجة الانزلاق يجب التأكد من عمق مستوى الانزلاق أثناء الحفر وعمل التدرج أسفل هذا المستوى وأسفل مستوى أى انزلاق أعمق يمكن حدوثه. ويتراوح عرض مصارف الدعامة الخلفية بين ١ ، ٢ متر وأحيانا تكون أعرض عند قاع الميل منه عند القمة مع زيادة العرض بحوالى ١ متر لكل ١٠ متر طولى.

وتتراوح المسافة بين مصارف الدعامة الخلفية بين ٣ متر و١٠ متر حسب ظروف الموقع وحسب ما إذا كانت هناك مصارف مساعدة بينها. ويجب تبطين المصارف بمرشح يتكون من مواد حبيبية ذات نفاذية وتدرج لا يسمح بدخول حبيبات التربة من الأرض المحيطة. كما يجب العناية بعزل قاعدة الحفر لمنع وصول المياه إلى كتلة الميل، ويمكن استخدام مواد مثل الخرسانة أو رقائق البلاستيك أو دهان البيتومين.

ويلزم عدم انسداد المصارف فى المدى الطويل، ويمكن منع دخول التربة دقيقة الحبيبات إلى المادة المالئة للمصرف عن طريق تبطين الخندق بمادة مرشحة و/ أو نسيج مرشح، كما يمكن منع دخول المياه السطحية إلى المصارف بوضع عازل من الطين المدموك على طبقة من مادة مرشحة فى المتر الأعلى من الخندق. وكبديل لتكوين خنادق التصريف خلال الميل كما هو مبين فى هذا البند، يمكن إنشاء مصرف قاطع عميق خلف قمة الميل وموازى لها.

### ٣/٤/٢/٩ مصارف الواجهة

يمكن استخدام مصارف الواجهة face drains للتحكم فى التسرب من واجهة ميل فى تربة متفذة. ويمكن تكوين هذه المصارف من طبقة حبيبية خشنة مقاسها يصل إلى ٦٠ مم يليها مرشح متدرج أو نسيج مرشح، أو تكوينها من حشايا سلك ممتلئة بالحصى يليها كذلك مادة مرشحة.

### ٤/٤/٢/٩ المصارف المثقوبة

يمكن خفض منسوب المياه الأرضية فى تكوينات تربة منفذه أو تكوينات صخرية بالضخ من آبار رأسية مثقوبة، مما يساهم فى سرعة الإنشاء عن طريق السماح بالحفر السريع فى ظروف جافة

احين الوصول إلى حالة التسرب المستقر نحو ميل القطوع. كذلك يمكن استخدام الآبار المثقوبة كعلاج لتخفيض الضغط البيزومترى المسبب لعدم ثبات الميل. ويعد هذا النظام غير اقتصادى كوسيلة صرف دائم إلا إذا أمكن تحقيق الصرف بالجاذبية.

ويمكن ثقب مصارف مائلة من سطح ميل القطوع بواسطة التثقيب الدورانى أو بالطرق مع استخدام غلاف casing حتى الوصول إلى نطاق الطبقة الحاملة للماء. ثم يتم دفع ماسورة الصرف، التى تتكون من ماسورة بلاستيك مخرمة يحوطها نسيج بلاستيك مرشح أو من ماسورة معدنية مخرمة يحوطها مرشح دائرى من الزلط أو الخرسانة المسامية، داخل الغلاف ثم يسحب الغلاف مع ترك ماسورة الصرف فى مكانها عندما يصبح السريان من الماسورة تحت تأثير الجاذبية.

وتعتبر المصارف المائلة وسيلة فعالة فى حالات التسرب من طبقات حاملة للماء رفيعة السمك نسبيا أو لتخفيف الضغط البيزومترى على سطح انزلاق محتمل.

### ٥/٤/٢/٩ ممرات الصرف أو الدهاليز

يمكن إنشاء ممرات للصرف drainage galleries عن طريق تنفيذ نفق من سطح الميل أو من بئر محفور خلف الميل. وتعتبر ممرات الصرف مكلفة عند مقارنتها بالمصارف المثقوبة المائلة ولكنها تفيد فى حالة التسرب من شقوق متقاربة أو من رقائق فى التكوينات الصخرية. ويمكن تنفيذ الممر بحيث يتقاطع مع مصدر التسرب ثم يستمر عبر النطاق الحامل للماء للمسافة الضرورية لتحقيق التخفيض المطلوب للضغوط البيزومترية خلف الميل. كما توفر ممرات الصرف وسيلة للوصول إلى مناطق بحاجة إلى طرق تثبيت إضافية كالحقن أو المصارف المثقوبة المائلة.

ويتم تنفيذ ممرات الصرف بميل مناسب للسماح بالصرف بالجاذبية نحو المدخل من خلال ماسورة صرف تحت أرضية الممر، ويجب أن يكون للمصرف غطاء يمكن رفعه لسهولة التفتيش والصيانة.

### ٦/٤/٢/٩ السريان بالضغط الأسموزى الكهربى

يصعب الصرف فى التربة دقيقة الحبيبات مثل الطمى الرملى والطمى والطين الطميى بسبب القوى الشعرية capillary forces المؤثرة على مياه المسام والتى تمنع السريان الحر تحت تأثير الجاذبية إلى المصارف. إلا أنه يمكن إحداث سريان تحت تأثير جهد كهربى حيث يسرى تيار

مباشر من آنود (طرف موجب عبارة عن أسياخ حديدية تدق فى التربة) إلى آبار ترشيح تكون الكاثود (الطرف السالب)، فتتحرك حبيبات الماء موجبة الشحنة خلال مسام التربة وتتجمع عند الكاثود حيث يتم ضخها إلى السطح. ونظرا لارتفاع تكاليف إنشاء وتشغيل هذا النظام مقارنة بنظم الصرف الأخرى كالصرف بالجاذبية أو من آبار ضخ بسيطة، فإنها تستخدم بصورة مؤقتة لحين تصميم وتنفيذ نظام الصرف النهائى وعادة يقتصر هذا الاستخدام على حالة ميل غير ثابت يلزم وقف تحركه سريعاً إلى أن يتم تصميم وتنفيذ وسائل العلاج الدائمة.

### ٥/٢/٩ الطرق الميكانيكية لسند جوانب الحفر

عندما تكون المسافة المتوفرة بين قدم الميل وحدود الموقع غير كافية لإنشاء ميل آمن لكامل ارتفاع القطوع، يصبح من الضرورى استخدام نظام سند فى صوره حائط ساند لتقليل الميل أو استخدام وسائل ميكانيكية تسمح بإنشاء ميول أكثر انحدارا. وتوضح البنود ١/٥/٢/٩ إلى ٥/٥/٢/٩ أهم الطرق الميكانيكية المستخدمة.

#### ١/٥/٢/٩ الحوائط الساندة

تستخدم الأنواع الآتية من الحوائط الساندة فى تدعيم ميل القطوع:

- الحوائط الثقالية من الخرسانة الكتلية أو الطوب أوالأحجار.
- الحوائط على شكل حرف L أو T من الخرسانة المسلحة.
- حوائط ذات دعامات أمامية buttress walls من الخرسانة المسلحة.
- حوائط ذات دعامات خلفية counterforited walls من الخرسانة المسلحة.
- الحوائط الغشائية diaphragm walls من الخرسانة المسلحة الكابولية أو المربوطة.
- حوائط من خوازيق التثقيب المتماسة الكابولية أو المربوطة.
- حوائط من خوازيق التثقيب المتقاطعة الكابولية أو المربوطة.
- حوائط من الخوازيق اللوحية الحديديةsteel sheet piles الكابولية أو المربوطة .
- حوائط التسنيد crib walls مثل الحوائط المصنوعة من القطاعات الخرسانية سابقة الصب أو من إطارات السيارات المجمعة.
- شبك الأحجار gabions من البلاستيك أو من السلك المجلفن أو المغطى بالبلاستيك والمملوءة بالأحجار.

مباشر من آنود (طرف موجب عبارة عن أسياخ حديدية تدق فى التربة) إلى آبار ترشيح تكون الكاثود (الطرف السالب)، فتتحرك حبيبات الماء موجبة الشحنة خلال مسام التربة وتتجمع عند الكاثود حيث يتم ضخها إلى السطح. ونظرا لارتفاع تكاليف إنشاء وتشغيل هذا النظام مقارنة بنظم الصرف الأخرى كالصرف بالجاذبية أو من آبار ضخ بسيطة، فإنها تستخدم بصورة مؤقتة لحين تصميم وتنفيذ نظام الصرف النهائى وعادة يقتصر هذا الاستخدام على حالة ميل غير ثابت يلزم وقف تحركه سريعاً إلى أن يتم تصميم وتنفيذ وسائل العلاج الدائمة.

### ٥/٢/٩ الطرق الميكانيكية لسند جوانب الحفر

عندما تكون المسافة المتوفرة بين قدم الميل وحدود الموقع غير كافية لإنشاء ميل آمن لكامل ارتفاع القطوع، يصبح من الضرورى استخدام نظام سند فى صوره حائط ساند لتقليل الميل أو استخدام وسائل ميكانيكية تسمح بإنشاء ميول أكثر انحدارا. وتوضح البنود ١/٥/٢/٩ إلى ٥/٥/٢/٩ أهم الطرق الميكانيكية المستخدمة.

#### ١/٥/٢/٩ الحوائط الساندة

تستخدم الأنواع الآتية من الحوائط الساندة فى تدعيم ميل القطوع:

- الحوائط الثقالية من الخرسانة الكتلية أو الطوب أوالأحجار.
- الحوائط على شكل حرف L أو T من الخرسانة المسلحة.
- حوائط ذات دعامات أمامية buttress walls من الخرسانة المسلحة.
- حوائط ذات دعامات خلفية counterforited walls من الخرسانة المسلحة.
- الحوائط الغشائية diaphragm walls من الخرسانة المسلحة الكابولية أو المربوطة.
- حوائط من خوازيق التثقيب المتماسة الكابولية أو المربوطة.
- حوائط من خوازيق التثقيب المتقاطعة الكابولية أو المربوطة.
- حوائط من الخوازيق اللوحية الحديديةsteel sheet piles الكابولية أو المربوطة .
- حوائط التسنيد crib walls مثل الحوائط المصنوعة من القطاعات الخرسانية سابقة الصب أو من إطارات السيارات المجمعة.
- شبك الأحجار gabions من البلاستيك أو من السلك المجلفن أو المغطى بالبلاستيك والمملوءة بالأحجار.

ويمكن تكوين حوائط ساندة من التربة المسلحة reinforced earth فى الجزء السفلى من ميل قطوع بحفر ميل مؤقت شديد الانحدار عند القدم، ثم وضع طبقات مدموكة من مواد حبيبية أساسا مكان التربة المحفورة، على أن تسلح كل طبقة بشرائح أفقية معدنية أو بلاستيكية. ويتم حماية واجهة الحائط الساند شديد الانحدار عن طريق عناصر تغليف معدنية أو من الخرسانة المسلحة أو البلاستيك .

وتتميز الحوائط الساندة من التربة المسلحة بالمرونة وتناسب ظروف التربة التى يتوقع لها حدوث حركة أمامية ملحوظة أو قبيان للقطوع نتيجة تخفيف الجهد أو حيث يتعرض موقع القطوع لهبوط من جراء أعمال التعدين أو الحفر تحت الارض كما أن تميزها بسرعة الانجاز والتوفير فى تكاليف الإنشاء جعلها منافسة للحوائط التقليدية. ورغم أن إنشاء مثل هذه الحوائط يتطلب إحكام أعمال المراقبة والمناولة للمواد المستخدمة وطريقة الإنشاء والأعمال المساحية وأعمال دمك التربة، إلا أن إنشاءها لا يتطلب تواجد عمالة فنية ماهرة حيث أن هذه الاعمال تتم من خلال منظومة عمل بسيطة .

ويتطلب تصميم الحوائط من التربة المسلحة استيفاء النقاط التالية:

١- الثبات الداخلى لطبقة التسليح ويشمل التحقق من :

أ- قوى الشد فى طبقة التسليح المستخدمة.

ب- مقاومة الانتزاع لطبقة التسليح.

ج- مقاومة الانزلاق عند مستوى كل طبقة تسليح.

٢- الثبات الكلى للحائط ويشمل التحقيق فى:

أ- ثبات الميل الكلى المدعم بالحائط الساند.

ب- مقاومة الانقلاب.

ج- مقاومة الانزلاق الكلى للحائط عند القاعدة.

د- قدرة التحمل لطبقة الأساس.

ويوضح الجدول (٩-٢) مدى ملاءمة أنواع التسليح المختلفة للميل والشكل الهندسى المطلوب ونوعية التربة المستخدمة وفقا لطريقة إنشاء الحوائط، كما يبين كيفية تولد وانتقال الاجهادات بين

## جدول (٩-٢) مقارنة بين نظم التسليح المختلفة للتربة

| طريقة الإنشاء | نوعية التسليح | | ميل التربة بالنسبة للأفقي ٣٠ ٦٠ ٩٠ (حائط رأسي) | نوعية التربة طين طمي رمل زلط | آلية تولد الاجهادات بين التسليح والتربة الاحتكاك السطحي مقاومة التربة | مادة التسليح معدنية | مادة التسليح غير معدنية |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات متبادلة من التربة المدموكة و التسليح | شريطية | ملساء | ● | ● | ● | ● | |
| | | ذات نتوء | ● | ● | ● | ● | ● |
| | شبكة | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | رقائق | | ● | ● | ● | | ● |
| | أسياخ مشكلة | | ● | ● | ● | ● | |
| | ألياف | | ● | ● | ● | ● | ● |
| قطوع تربة مدعمة بالموقع | التربط باستخدام الأسياخ ذات الأقطار الصغيرة | | ● | تربة الموقع | ● | ● | |
| | الخوازيق الجاسئة ذات الأقطار الكبيرة | | ● | تربة الموقع | ● | ● | ● |

التسليح والتربة ونوعية مادة التسليح (معدنية أو غير معدنية) .ونظرا لتأثر سلوك المنشأ بمدى جساءة طبقة التسليح والشكل الهندسى للمنشأ ودمك التربة فان شكل سطح الانهيار يأخذ الشكل الخطى المعتاد فى حالة استخدام الرقائق أو الشبكات البلاستيكية ( الشكل ٩/٢/٥/أ) بينما يأخذ الشكل ثنائى الإتجاه أواللوغاريتمى فى حالة استخدام الشبكات المعدنية (الشكل ٩/٢/٥/ب) . كما أن معامل الضغط الجانبى للتربة يتراوح بين معامل الضغط الفعال ($k_a$) فى حالة الرقائق والشبكات البلاستيكية الجيوتقنية وبين قيمة متغيرة تقع بين معامل الضغط الفعال ومعامل الضغط الساكن ($k_o$) فى حالة التربة المسلحة بنظام vsl أو تزيد عن ذلك فى حالة الشبكات المعدنية (الشكل ٩/٢/٥/ج) ولذلك ينصح برصد كل من الشد فى التسليح والإزاحات الجانبية للمنشأ والهبوط أثناء وبعد الإنشاء وذلك لتعديل معاملات التصميم إذا لزم الامر.

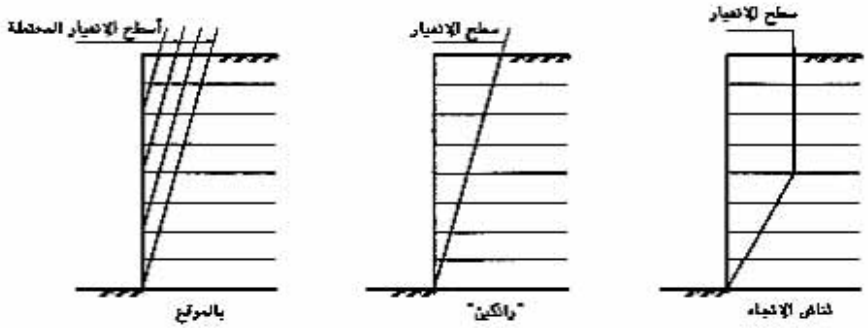
وتعد الحوائط التثاقلية أو الحوائط الخرسانية المسلحة مناسبة إذا كانت التربة فى الجزء السفلى من القطوع قابلة للحفر بميل شديد مؤقت حتى ينتهى إنشاء الحائط ثم يردم الفراغ بين مؤخرة الحائط والميل المؤقت. وكحل بديل، يمكن إنشاء هذه الحوائط فى خندق مسنود بالواح خشبية قبل الانتهاء من حفر القطوع على أن يتم رفع التربة من امام الحائط واستكمال حفر القطوع بعد الانتهاء من المنشأ السائد.

وتناسب الحوئط الغشائية وحوائط خوازيق التثقيب المتماسة وحوائط خوازيق التثقيب المتقاطعة التربة الضعيفة أو غير الثابتة أو الحاملة للماء حيث لا يمكن تكوين ميل مؤقت شديد الانحدار أو حيث يسبب العمل فى خندق مشاكل عند سند التربة أو انهيار سطحها. كما تناسب هذه الأنواع من الحوائط السائدة المواقع التى يتم الإنشاء فيها بالقرب من منشآت مقامة بالفعل.

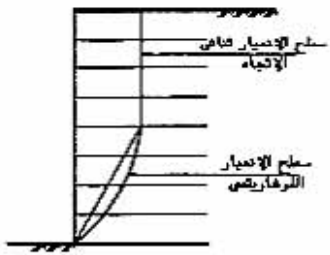
وتستخدم الستائر اللوحية الحديدية كإجراء علاجى لاعادة الثبات أو كعامل ميسر للإنشاء كما يمكن استخدامها كحائط ساند دائم إذا اتخذت إجراءات لحمايتها من التأكل عند استخدامها لفترة طويلة من الزمن.

أما الحوائط الصندوقية من الخرسانة سابقة الصب فتعد نوعاً من القطاعات التثاقلية وقد تكون اقتصادية فى المواقع التى يتوفر فيها كسر الصخور أو الزلط المناسب كمادة مالئة لها.

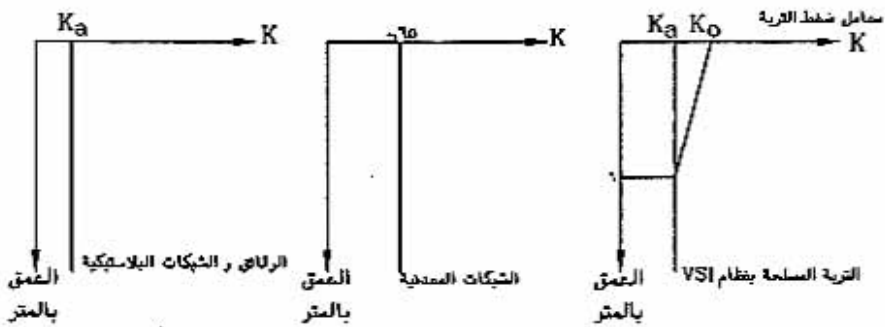
وتناسب الجابيونات المملؤة بالأحجار المواقع التى يتوفر فيها كسر الصخور أو الركام أو الزلط الكبير اللازم لملئها وحيث يوجد الاتساع اللازم لترتيب هذه الجابيونات فى صفوف تكون حائطاً ساناداً متدرجاً نحو الخلف . والجابيونات ليست ذات عمر طويل ولكن باستخدام شبك السلك




( أ ) أسطح الانهيار المحتملة بالموقع مقارنة بسطح إنهيار"رانكين" و سطح الانهيار ثنائي الاتجاه .




( ب ) سطح الإنهيار اللوغاريتمي .




( جـ ) التغير المفترض فى معامل ضغط التربة مع العمق لحوائط من أنواع مختلفة .

**شكل ( ٩-٢-٥): تربة مسلحة**

المجلفن أو المغطى بالبلاستيك يمكن أن تمكث لوقت أطول . وتناسب الجابيونات المواقع التى تغمر فيها القطوع بالماء مؤقتا أو دائما حيث تتعرض القطوع للنحر من الماء المتسرب. كما تناسب مرونة الجابيونات المواقع التى قد يحدث فيها تغير ملحوظ فى الشكل للميل نتيجة تخفيف الإجهاد أو بسبب الهبوط نتيجة أعمال التعدين.

وفى كل الحالات ولكل أنواع الحوائط الساندة، يجب الاهتمام بالصرف خلف الحائط لمنع تكوين الضغط الهيدروستاتيكى على المنشأ ولتجنب الارتفاع العام فى ضغط مياه مسام التربة أو كتلة الصخر خلف الحائط. ويمكن أن تتكون طبقة الصرف خلف المنشأ الساند من مواد حبيبية أو خرسانة مسامية. وإذا كان هناك خطر فقد الحبيبات الدقيقة بالتربة المسنودة، فيجب استخدام مرشح متدرج أو نسيج مرشح.

### ٩/٢/٥/٢ الأربطة الأرضية

يمكن تنفيذ ميل شديد الانحدار للتربة باستخدام بلاطات من الخرسانة المسلحة سابقة الصب أو مصبوبة فى موضعها ومقيدة الحركة بواسطة كابلات أو قضبان حديدية مربوطة فى كتلة التربة الثابتة خلف منطقة الانزلاق المحتمل (شكل ٩-٢-٦).

### ٩/٢/٥/٣ ربط الصخر

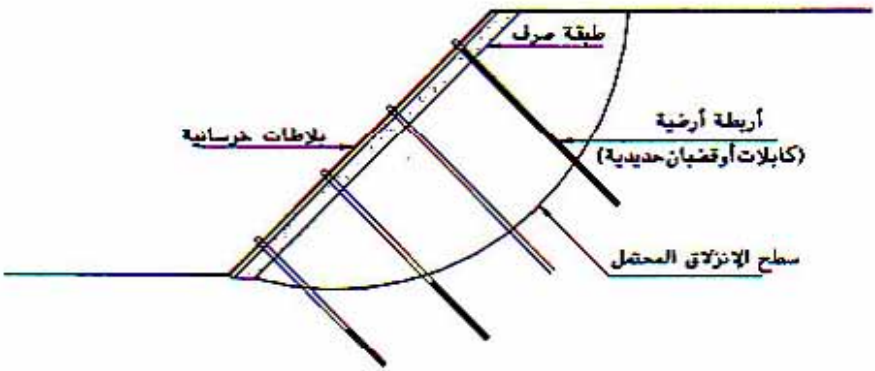
يمكن استخدام مسامير ربط الصخر rock bolts كوسيلة لمنع تفكك سطح الصخر الضعيف أو كثير الفواصل أو كوسيلة لتقييد حركة كتلة الصخر. وعندما لا يهم الشكل الجمالى، يمكن تغطية الميل بشبكة من السلك مثبتة فى سطح الصخر بمسامير قصيرة أو مربوطة فى قمة الميل بمسامير ربط رأسية. ويقتصر هذا النظام على الاحتفاظ بالكتل الخفيفة نسبيا من الصخر على سطح الميل أو على التحكم فى سقوط الكتل الكبيرة إذا كانت الشبكة مربوطة فقط فى قمة الميل، وفى هذه الحالة يجب أن تكون كل من الشبكة وأربطتها ذات مقاومة كافية.

ويمكن ربط الصخور البارزة المنعزلة المعرضة للانقلاب فى الصخور الثابتة خلفها بواسطة مسامير ربط قصيرة. وبالمثل يمكن تثبيت كتل الصخر السطحية التى قد يظهر عدم ثباتها فى شكل انزلاقات بلاطية أو كتلية slab or block slides باستخدام مسامير ربط قصيرة تمتد خلف مستوى الانزلاق المحتمل (شكل ٩-٢-٧).

ويمكن تثبيت مسامير الربط القصيرة المستخدمة فى علاج سطح الصخر بإدخالها فى ثقوب تنفذ بالصخور ثم تحقن بالأسمنت أو الراتنج الإيبوكسى أو البوليستر. كما يمكن استخدام أربطة سابقة الإجهاد.

ويمكن منع كتل الصخر الكبيرة من الوصول إلى حالة عدم ثبات فى صورة انزلاقات انتقالية wedge slides عن طريق أربطة صخر طويلة مثبته فى كتلة الصخر خلف منطقة عدم الاتزان

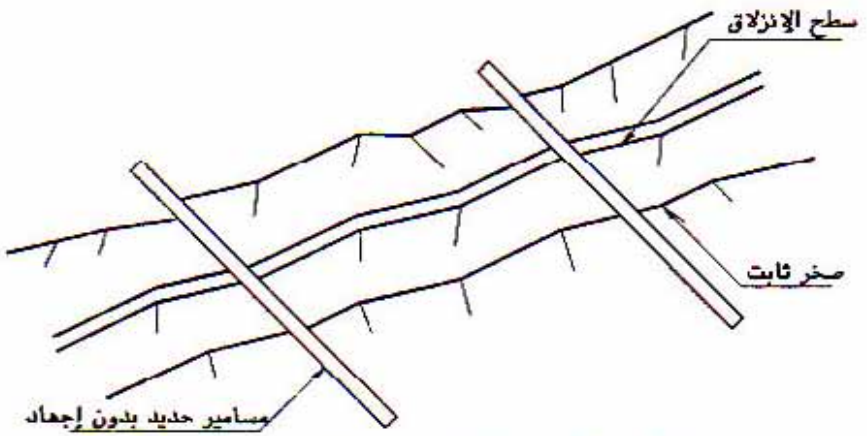
المحتملة بواسطة الحقن. وعند استخدام أربطة قصيرة أو طويلة لتثبيت الميول فى الصخر، يجب أخذ تأثير الحقن لتأمين الأربطة على الصرف فى الاعتبار. فقد يؤدى الحقن الكثيف




شكل (٩-٢-٦) ميل تربة شديدة الإنحدار مثبت بأربطة أرضية

لكتلة صخر ذات فواصل إلى تكوين حاجز لسريان المياه الأرضية نحو القطوع. لذلك يمكن ثقب فتحات للصرف على واجهة الميل عند الضرورة لتخفيف الضغط الهيدروستاتيكى.

ويجب الاهتمام بمنع صدأ أو تآكل الأربطة عن طريق التغليف المناسب للأطوال غير المحقونة منها. أما بالنسبة لرؤوس الأربطة التى يجب الوصول إليها بسهولة لإعادة إجهادها إذا اقتضت الضرورة، فيجب توفير الوسائل المناسبة لحمايتها من الصدأ والتآكل وكذلك حماية نظام ربطها وألواحها المكشوفة.




شكل (٩-٢-٧) إنزلاق بلاطى مثبت بمسامير ربط

### ٤/٥/٢/٩ معالجة أسطح الصخر

يمكن استخدام الخرسانة المرشوشة shotcrete سواء المسلحة بشبكة تسليح حديدية أو غير المسلحة فى حالة الصخور المهشمة. وفى هذه الحالة تحتفظ الخرسانة بقطع الصخر فى مكانها وتمنع الحركة الإضافية وتخفف الجهد الجانبى الذى قد يؤدى إلى عدم ثبات سطح الميل المصاحب للانفعالات الكبيرة داخل الكتلة الصخرية. وفى العادة يكون الشك السريع مطلوبا للخرسانة المستخدمة، كما يلزم استخدام حديد التسليح إذا كانت المونة أو الخرسانة المستخدمة ذات سمك كبير نسبيا. هذا وتوجد أنظمة لرش المونة جافة أو بعد خلطها بالماء.

### ٥/٥/٢/٩ تحسين معاملات التربة

يمكن استخدام الحقن بالطرق الفيزيوكيميائية كوسيلة لتثبيت كتله التربة والسماح بميول شديدة الانحدار نسبياً، ولكن الاستخدام الرئيسى لهذه الطرق هو كوسيلة علاجية.

### ٦/٢/٩ مراقبة ميول القطوع

#### ١/٦/٢/٩ مقدمة

لا توجد متطلبات خاصة لمراقبة ثبات ميول القطوع عندما تكون مؤشرات الثبات واضحة من الخبرة أو من تحليل الثبات. إلا أنه يفضل إجراء فحص دورى خاصة فى الأشهر الأولى بعد الانتهاء من تنفيذ القطوع فى

حالة احتمال تعرض سطحها للنحر. ويجب أن يشمل الفحص النقاط الآتية:

١- تغير الشكل: قد يشير هبوط الجزء العلوى من الميل مع حدوث بروز حول القدم إلى بداية انهيار بواسطة انزلاق قص دورانى.

٢- الشروخ : قد تشير مجموعة من الشروخ بالقرب من قمة الميل وشبة موازية له إلى انزلاق فى حين تدل الشروخ سداسية الشكل أو العشوائية على الانكماش بالجفاف.

٣- التشقق : يدل انفتاح الشقوق والفواصل فى ميل صخرى على بدء انهيار انتقالى أو بالانقلاب.

٤- التسرب: تدل المياه المتسربة من واجهة القطوع والحاملة لحبيبات تربة على وجود نحر داخلى.

٥- التآكل السطحى: تشير القنوات المنحورة على واجهة الميل إلى الحاجة للحماية من النحر السطحى.

### ٤/٥/٢/٩ معالجة أسطح الصخر

يمكن استخدام الخرسانة المرشوشة shotcrete سواء المسلحة بشبكة تسليح حديدية أو غير المسلحة فى حالة الصخور المهشمة. وفى هذه الحالة تحتفظ الخرسانة بقطع الصخر فى مكانها وتمنع الحركة الإضافية وتخفف الجهد الجانبى الذى قد يؤدى إلى عدم ثبات سطح الميل المصاحب للانفعالات الكبيرة داخل الكتلة الصخرية. وفى العادة يكون الشك السريع مطلوبا للخرسانة المستخدمة، كما يلزم استخدام حديد التسليح إذا كانت المونة أو الخرسانة المستخدمة ذات سمك كبير نسبيا. هذا وتوجد أنظمة لرش المونة جافة أو بعد خلطها بالماء.

### ٥/٥/٢/٩ تحسين معاملات التربة

يمكن استخدام الحقن بالطرق الفيزيوكيميائية كوسيلة لتثبيت كتله التربة والسماح بميول شديدة الانحدار نسبياً، ولكن الاستخدام الرئيسى لهذه الطرق هو كوسيلة علاجية.

### ٦/٢/٩ مراقبة ميول القطوع

#### ١/٦/٢/٩ مقدمة

لا توجد متطلبات خاصة لمراقبة ثبات ميول القطوع عندما تكون مؤشرات الثبات واضحة من الخبرة أو من تحليل الثبات. إلا أنه يفضل إجراء فحص دورى خاصة فى الأشهر الأولى بعد الانتهاء من تنفيذ القطوع فى

حالة احتمال تعرض سطحها للنحر. ويجب أن يشمل الفحص النقاط الآتية:

١- تغير الشكل: قد يشير هبوط الجزء العلوى من الميل مع حدوث بروز حول القدم إلى بداية انهيار بواسطة انزلاق قص دورانى.

٢- الشروخ : قد تشير مجموعة من الشروخ بالقرب من قمة الميل وشبة موازية له إلى انزلاق فى حين تدل الشروخ سداسية الشكل أو العشوائية على الانكماش بالجفاف.

٣- التشقق : يدل انفتاح الشقوق والفواصل فى ميل صخرى على بدء انهيار انتقالى أو بالانقلاب.

٤- التسرب: تدل المياه المتسربة من واجهة القطوع والحاملة لحبيبات تربة على وجود نحر داخلى.

٥- التآكل السطحى: تشير القنوات المنحورة على واجهة الميل إلى الحاجة للحماية من النحر السطحى.

ويجب إجراء الفحص عقب فترات الأمطار الغزيرة، كما يجب فحص الميول الطينية أثناء هطول الأمطار التى تعقب فترة جفاف وبعدها مباشرة لتقدير أثر دخول الماء فى الشقوق السطحية. ومن الطرق البسيطة لاكتشاف التغيرات الكبيرة فى الشكل ملاحظة أى تغير فى أماكن وميل خوابير يتم تثبيتها فى الميل عقب الانتهاء من تنفيذه.

كما يجب إجراء فحص لميول القطوع خلال فترة الإنشاء وكذلك الميول الحادة لحفر الأساسات أو الخنادق يوميا بواسطة ذوى الخبرة للتأكد من أمان ظروف التشغيل بالنسبة للعاملين ولتجنب الإضرار بالأعمال التى تمت جزئيا وبالمنشآت الموجودة حول الحفر.

وعند وجود شك فى الثبات سواء فى المدى القصير أو الطويل، يفضل تركيب الأدوات المستخدمة فى التنبيه إلى حالة عدم الثبات مقدماً وذلك للتمكن من اتخاذ إجراءات علاجية من صرف أو حقن أو ربط قبل الوصول إلى مرحلة الانهيار. وتحتوى البنود (٢/٦/٢/٩) إلى (٥/٦/٢/٩) على الطرق الملائمة لمراقبة الميول.

٢/٦/٢/٩ ضغط الماء

قد يكون لضغط مياه المسام خلف سيل قطوع تأثير خطر على الثبات (أنظر بند ٢/٢/٩)، ولذلك يفضل مراقبة التغيرات فى ضغط مياه المسام خلال وعقب إنشاء القطوع للتحقق من الافتراضات التى بنى التصميم على أساسها وللتأكد من عدم ازدياد الضغط مع الزمن إلى درجة حرجة.

ويمكن مراقبة ضغط مياه المسام فى التربة المنفذة المتجانسة عن طريق مستوى الماء فى مواسير قائمة standpipe بسيطة لقياس منسوب الماء. وفى حالات التربة متعددة الطبقات أو التربة ذات النفاذية المتوسطة إلى الضعيفة قد يكون زمن استجابة هذه المواسير القائمة للتغيرات فى ضغط مياه المسام غير كاف لاكتشاف خطورة الأوضاع فى الوقت المناسب لاتخاذ إجراء علاجى، ولذلك يجب فى هذه الحالات مراقبة ضغط مياه المسام عن طريق بيزومترات معزولة ومحمية بعناية وموضوعة عند عدة أماكن على امتداد الميل فى كل طبقة تربة يمكن أن يشكل زيادة الضغط فيها خطورة. ويمكن مراقبة مستوى الماء بإنزال مجس فى ماسورة البيزوميتر أو بتوصيل مجموعة البيزومترات بجهاز أخذ القراءات بواسطة نظم نقل وتسجيل البيزومترات الكهربية أو الهيدروليكية أوالتى تعمل بالهواء المضغوط. ومن الضرورى اتخاذ الاحتياطات لتأمين البيزومترات وحمايتها من أى أضرار قد تنجم عن عمليات الإنشاء والصيانة أو محاولة العبث بها.

### ٣/٦/٢/٩ مراقبة التحركات السطحية وتحت السطحية

يمكن مراقبة تحركات سطح الأرض فى كل من الاتجاه الافقى والاتجاه الرأسى بالطرق المساحية، ويتوقف أختيار طريقة مساحية معينة على الدقة المطلوبة. ففى المدى القصير عندما لا تكون الدقة مطلوبة بدرجة عالية يمكن إجراء قياسات بسيطة على شوك معدنية أو أوتاد سبق دقها فى الأرض وذلك بالطريق المساحية العادية أو الطرق التاكيومترية أو المعدات الإلكترونية مع نسب القراءات إلى قاعدة ثابتة أو أكثر على مسافة من المنطقة المتأثرة بالحفر، كما يمكن استخدام الفوتوجرامترى. وعندما تكون الدقة المطلوبة عالية (فى حدود ± ٥مم أو أقل ) مع توقع تكرار القراءات على فترات منتظمة لمدة طويلة من الزمن، يجب تصميم نظام مناسب للمراقبة تستخدم فيه أحد أو بعض الطرق الآتية:

١- مساحة دقيقة باستخدام ميزان حساس وقامة.

٢- شبكات مثلثية باستخدام تيودليت من الدرجة الأولى (قراءة الزواية لأقرب ثانية).

٣- استخدام أجهزة قياس المسافات الإلكترونية الخاصة.

ويجب أخذ القراءات من قواعد مساحية ثابتة وتفضل القواعد ذات المركز الثابت للأجهزة أو المنسوبة إلى روبيرات أو علامات منسوب ثابتة عميقة. ويجب تصميم نقط الرصد بحيث تكون نقط واضحة يمكن رصدها وأخذ القراءات لها خلال الزيارات المتكررة. ويجب عمل الحسابات بالطرق المساحية التقليدية مع تصحيح النتائج.

ويمكن قياس التحركات تحت السطحية للميل من خلال ثقوب جسات يتم اختيار مواضعها عند النقاط الحرجة مع تحديد تلك المواضع بواسطة الطرق أ ، ب ، ج المذكورة عاليه ، حيث يتم قياس الإزاحات الأفقية بواسطة مقاييس الميل incliometers وقياس الإزاحات الرأسية بواسطة مقاييس الاستطالة extensometers المتصلة بوحدات أخذ القراءات الخاصة بها ومقارنتها بقراءات ما قبل الإنشاء، مع العناية بتثبيت تلك المقاييس بما لا يؤثر على حساسية القراءات الممثلة لسلوك التربة.

### ٤/٦/٢/٩ قياس ضغط التربة

يمكن قياس ضغط التربة على المنشآت السائدة المذكورة فى بنـــــد ٥/٢/٩ بـــواسطة خـــلايا ضغط pressure cells موضوعة بين نسيج التربة وسطح المنشأ السائد أو بواسطة خلايا تحميل load cells مركبة على أجزاء من المنشأ مثل الأربطة والدعامات العرضية struts.

٥/٦/٢/٩ المراقبة عن طريق الاهتزازات السيزمية

يمكن أن تدل عمليات المسح بالاهتزازات السيزمية فى فترات دورية على تحرك فى ميل صخرى حيث أن انفتاح أو انغلاق الشقوق يؤثر على سرعة الاهتزازات السيزمية فى كتلة الصخر. كما يمكن أن تنبه المعدات الدقيقة لقياس الاهتزازات السيزمية micro-seismometers المركبة فى ثقوب جسّات إلى حدوث تحركات بالميل.

٣/٩ الجسور والردم

١/٣/٩ مقدمـــة

تستلزم عملية تصميم و إنشاء الجســـور والردم دراســـة الآتي:

١- العوامل المختلفة المؤثرة على تصميم قطـــاع الجســـر.

٢- خصـــائص تربة الأســـاس أسفل الجســـر.

٣- خصـــائص المواد المستـــخدمة فى إنشاء الجســـر.

٤- الخطوات المتبعة فى إنشاء الجسر فى صورة طبقات أفقية متماسكة بكامل عرض الجسر.

٥- وســـائل الصرف المستخدمة لتحسين خصائص:

أ) تربة الأســـاس.

ب) الموقع خلال عمليـــة الإنشاء.

ج) ثبات الجسر أو الردم.

٦- تهذيب وحمـــاية ميول الجســـر.

وبالإضافة للعوامل السابقة يجب أن تتم دراسة ظروف الموقع المزمع إنشاء الجســـر أو الردم فيه التى قد تؤثر بالســـلب أو بالإيجـــاب على هذه البنود الستة.

٢/٣/٩ العوامل المؤثرة على تصميم الجسور

يستلزم تحديد قطاع الجسر ثلاث أبعاد وهي عرض قمة الجســـر والارتفاع فوق سطح الأرض والميول الجانبية اللازمة لثبات الجسر. ومن العوامل المؤثرة فى تصميم قاعدة الجسر ثبات التربة المزمع إنشاء الجســـر عليها وتوافر العرض الكافي لاستيعاب قاعدة الجسر المطلوبة. وإذا لم يتوافر العرض الكافي من الأرض لاستيعاب قاعدة الجســـر المطلوبة فيجب استعمال المنشآت الساندة المذكورة في البند ٢/٥/٢/٩. وعند اختيار نوع المنشأ الساند يجب مراعاة طريقة تكوين الجسر وكذلك الاعتبارات العامة الأخرى المذكورة فى البند ١/٩.

٥/٦/٢/٩ المراقبة عن طريق الاهتزازات السيزمية

يمكن أن تدل عمليات المسح بالاهتزازات السيزمية فى فترات دورية على تحرك فى ميل صخرى حيث أن انفتاح أو انغلاق الشقوق يؤثر على سرعة الاهتزازات السيزمية فى كتلة الصخر. كما يمكن أن تنبه المعدات الدقيقة لقياس الاهتزازات السيزمية micro-seismometers المركبة فى ثقوب جسّات إلى حدوث تحركات بالميل.

٣/٩ الجسور والردم

١/٣/٩ مقدمـــة

تستلزم عملية تصميم و إنشاء الجســـور والردم دراســـة الآتي:

١- العوامل المختلفة المؤثرة على تصميم قطـــاع الجســـر.

٢- خصـــائص تربة الأســـاس أسفل الجســـر.

٣- خصـــائص المواد المستـــخدمة فى إنشاء الجســـر.

٤- الخطوات المتبعة فى إنشاء الجسر فى صورة طبقات أفقية متماسكة بكامل عرض الجسر.

٥- وســـائل الصرف المستخدمة لتحسين خصائص:

أ) تربة الأســـاس.

ب) الموقع خلال عمليـــة الإنشاء.

ج) ثبات الجسر أو الردم.

٦- تهذيب وحمـــاية ميول الجســـر.

وبالإضافة للعوامل السابقة يجب أن تتم دراسة ظروف الموقع المزمع إنشاء الجســـر أو الردم فيه التى قد تؤثر بالســـلب أو بالإيجـــاب على هذه البنود الستة.

٢/٣/٩ العوامل المؤثرة على تصميم الجسور

يستلزم تحديد قطاع الجسر ثلاث أبعاد وهي عرض قمة الجســـر والارتفاع فوق سطح الأرض والميول الجانبية اللازمة لثبات الجسر. ومن العوامل المؤثرة فى تصميم قاعدة الجسر ثبات التربة المزمع إنشاء الجســـر عليها وتوافر العرض الكافي لاستيعاب قاعدة الجسر المطلوبة. وإذا لم يتوافر العرض الكافي من الأرض لاستيعاب قاعدة الجســـر المطلوبة فيجب استعمال المنشآت الساندة المذكورة في البند ٢/٥/٢/٩. وعند اختيار نوع المنشأ الساند يجب مراعاة طريقة تكوين الجسر وكذلك الاعتبارات العامة الأخرى المذكورة فى البند ١/٩.

وعند تصميم جسور المداخل للكبارى أو المنشآت الأخرى، يجب أن تدرس المنشآت وأساساتها والأعمـــال الترابية المتعلقة بها ككل وليس كوحدات منفصلة.

**٣/٣/٩ خصائص المقاومة و تغير الشكل لتربة الأســـــاس و مواد الردم**

**١/٣/٣/٩ المواد**

**١/١/٣/٣/٩/أ الصخر**

عندما ينشأ الجسر على أرض صخرية تكون المشاكل المتعلقة بالمقاومة وتغير الشكل غير متوقعة. ويمثل الردم الصخري المدموك جيدا على طبقات مادة ردم ممتازة من حيث المقاومة وعدم تغير الشكل. إلا أن بعض أنواع الصخور الضعيفة مثل الحجر الوحلى mudstone، الطين الرقائقىlaminated clay ، المرل marl والطباشير chalk يمكن أن تتآكل إذا تعرضت للعوامل الجوية المختلفة أو إذا استعملت طرق إنشاء غير مناسبة ، ولذلك تعامل هذه الأنواع من الصخر كتربة متماسكة.

وإذا تضمنت طريقة بناء الجســـور إلقاء الصخور فى الماء أو إذا استخدمت الجســور كمنشآت منفذة تتعرض لسريان الماء خلالها، فإنه يجب استخدام صخور صلبة وغير قابلة للتآكل.

**١/١/٣/٣/٩/ب التربة الحبيبية**

إذا كانت تربة الأســـاس تربة حبيبية فإنها تتميز بنفاذية عالية ولا تسمح بصفة عامة بتكوين ضغوط زائدة لمياه المســام وقت إنشاء الجســـر. ونتيجة لذلك فإن حمل الجسر يؤدى إلى زيادة مقاومة تربة الأســـاس كما أن معظم تغيرات الشكل تحدث مباشرة أثنـاء عمليـــة الإنشاء.

وتعتبر احتمالات حدوث انهيار باالقص لتربة الأساس الحبيبية أسفل الجسر ضعيفة، إلا أن بعض الصعوبات قد تنجم فى حالة الإنشاء على رمل ناعم مشبع ومفكك حيث أن الاهتزازات الناتجة من مرور معدات الإنشاء أو دق الخوازيق قد تؤدى إلى فوران الرمل.

وتعتبر التربة الحبيبية مادة ردم عالية الكفاءة عند وضعها على طبقات مع دمكها دمكا مناسبا. ويمكن التغلب على الصعوبة المحتملة عند دمك الطبقة العليا من التربة منتظمة الحبيبات عن طريق تحسين تدرجها بإضافة تربة أخرى مناسبة.

### ١/٣/٣/٩/ج التربة المتماسكة

عند إنشـــاء جسر من تربة متماسكة، تتسبب الأحمـــال الإضافية فى تكون ضغوط زائدة لمياه المسام نتيجة لضعف النفاذية فى هذه التربة. وبالتالى يحدث تضاغط ضئيل لتربة الردم خلال فترة الإنشاء بدون تحسن ملموس فى مقاومة القص لها. وبعد انتهاء مرحلة الإنشاء يحدث الجزء الأكبر من هبوط التضاغط نتيجة لتلاشى ضغوط مياه المسام الزائدة.

وفى حالة استخدام التربة المتماسكة كتربة ردم أو تواجدها كتربة أساس، يكون محتوى الرطوبة هو العامل الرئيسي المؤثر على خواص المقاومة و تغير الشـــكل للتربة. وبالإضافة إلى ذلك، يعتبر أيضا تكوين و نسيج التربة من العوامل الهامة فى حالة تربة الأساس.

### ١/٣/٣/٩/د التربة الطميية

التربة الطميية هي تربة متماسكة لها مشاكل إضافية خاصة. فبما إنها ذات خـــواص متوسطة بين الطين والرمل فإن مقاومتها وتغير شكلها تتأثر بالقلقلة التي تسبب عدم ثباتها.

### ١/٣/٣/٩/هـ التربة العضوية

لا تصلح التربة العضوية كمادة ردم أو تربة أســـاس نظرا لقابليتها العالية للانضغاط ويجب إزالتها قبل إنشاء الجسر إذا تواجدت فى طبقات بسمك ملحوظ . وإذا تعذر إزالتها يجب التعجيل بانضغاطها عن طريق تحميل الجسر بشرط عدم تأثير هذا التحمـــيل على ثبات الجسر.

### ١/٣/٣/٩/و المخلفات الصناعية و المنزلية

من المخلفات الصناعية التي يمكن النظر فى ملاءمتها كمادة ردم أو كتربة أســـاس خبث المعادن و مخلفات المحاجر، ورماد الوقود المطحون الناتج عن محطات القوى والمخلفات الناتجة عن التصنيع و الصناعات الكيماوية. أما بخصوص استخدام المخلفات المنزلية كمادة ردم او أساس بدون معالجتها فهي غير مناسبة. ويجب عند اختيار المخلفات كمادة أساس أو مادة ردم إجراء الاختبارات اللازمة لتحديد مدى مناسبتها. وتتضمن هذه الاختبارات تعيين نسبة الكبريتات و قابلية الاحتراق ونسبة تواجد المواد السامة واختبارات تعيين الخواص الميكانيكية. كما يجب النظر الى احتمالات تلوث المجارى المائية أو المياه الأرضية بسبب المخلفات.

### ٢/٣/٣/٩ الاختبارات و ملائمة المواد

يجب معرفة خواص المقاومة و تغير الشكل و قابلية التأثر بزيادة محتوى الرطوبة لتربة الأساس

أو تربة الردم عن طريق :

١- اختبارات الموقع (كجزء من استكشاف الموقع).

٢- الاختبارات المعملية.

٣- استخدام أجهزة القياس فى الأعمال الحقلية.

و فى حالة الجسور المكونة من الصخور الكبيرة يجب إجراء اختبارات فى الموقع لتحديد أنسب الطرق للحفر وإنشاء الجسر المناسب.

ولكل أنواع التربة التى تبدى تماسكا بين حبيباتها مثل الرمل الطميى والطين الطمـــيي والطباشير يجب إجراء اختبارات معملية لتحديد العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة وكذلك تحديد مقاومة القص غير المصروف أو نسبة كاليفورنيا للتحمل california bearing ratio,CBR، حيث أن لها محتوى رطوبة حرج والذي بعده تصبح هذه المواد غير صالحة للاستخدام فى تنفيذ الأعمال الترابية بالطرق العادية.

### ٤/٣/٩ تصميم الجسور

#### ١/٤/٣/٩ عام

عند تصميم الجسور يجب أن يكون هناك معامل أمان كافٍ ضد انهيار القص كما يلزم التأكد من أن يكون التغير فى الشكل في حدود القيم المسموح بها، ولذلك فإنه قبل تصميم قطاع الجسر يجب معرفة المعلومات الآتية :

١- أقصى عرض لقمة الجسر .

٢- الأحمال المتوقعة على قمة الجسر .

٣- الخواص الجيوتكنيكية لتربة الأساس وتربة الردم .

٤- عرض الأرض المتاحة لإقامة الجسر .

٥- الظروف الخاصة التي قد يتعرض لها الجسر، مثل مياه المد وعمليات التنقيب والتجاويف الطبيعية والعوامل الاقتصادية والبيئية الأخرى والتي يمكن أن تؤثر على الاختيار النهائي لقطاع الجسر.

#### ٢/٤/٣/٩ الثبات

يجب عمل حسابات الثبات للجسور بالطريقة التحليلية المناسبة . ومن الأفضل فى بعض الحالات تعيين التغير فى شكل الجسر باستعمال طريقة العناصر المحددة finite elements لتحديد ما

إذا كان التغير في الشكل في حدود المسموح به.

ونحصل عادة على معاملات مقاومة القص للردم اللازمة لحساب ثبات الجسر من نتائج الاختبارات المعملية على عينات مدموكة . وعندما يتم عمل جسر من ردم الصخور أو أى مادة حبيبية أخرى بحيث لا يزيد ميول الجوانب عن زاوية الميل الطبيعية لمادة الردم فإن الجسر يكون آمنا لأي ارتفاع بشـــرط أن تتحمل تربة الأساس الحمل الناتج عن إنشاء الجسر.

وبصفة عامة فإنه بالنسبة للردم المكون من مادة حبيبية مدموكة جيدا تكون زاوية مقاومـــة القص أكبر بشكل ملحوظ من زاوية الميل الطبيعي و بالتالي فإن تحديد زاوية مقاومة القص في المعمل واستعمالها في حسابات الثبات يؤدى إلى الحصول على قطاع أكثر اقتصادا. وفى حالة صعوبة تعيين زاوية مقاومة القص لمادة الردم بالنسبة للجسور المكونة من ردم الصخور، يمكن استخدام الزوايا المذكورة فى الجدول (٩-١). أما بالنسبة للطين والطمي، فيمكن تعيين معاملات مقاومة القص و ضغط مياه المسام معمليا من اختبارات الضغط ثلاثي المحاور.

وإذا كانت خصائص النفاذية للتربة ذات محتوى الرطوبة الطبيعية المرتفع تسمح عمليا بخفض ذلك المحتوى، فإن ذلك الخفض يؤدى إلى تحسن مقاومة القص و بالتالي يمكن الاستفادة من ذلك في التصميم.

وعند إقامة الجسور على أرض منحدرة ووجود طبقة غير منفذة أسفل تربة منفذة ذات سمك كبير فقد يتكون مستوى مائي معلق perched water table بسبب تشبع المادة المنفذة مع احتمال حدوث نحر أو هبوط فى المنطقة المنخفضة حيث قد ينبثق الماء عند جانب الجسر.

وثبات الجسر لا يعتمد فقط على مقاومة تربة الردم ولكن أيضا على مقاومة تربة الأساس.

ولذلك فإنه يجب ألا تحدث الأحمـــال الإضافية المتوقعة انهيار قص أو تغير شكل غير مسموح به. و تنطبق أيضا العوامل التى تتحكم فى سلوك أنواع التربة والصخر فى القطوع (انظر بند ٢/٢/٩) على سلوكها كمادة أســـاس للجسور .

وإذا كان الموقع يحتوى على ملامح جيولوجية مثل الفوالق أو الأسطح المنزلقة الناتجة مـــن تحركات سابقة فإنه يلزم مراعاة تلك الملامح أثناء تصميم الجسر .

ويمكن استخدام بعض الطرق الفنية مثل الدمك العميق لتحسين مقاومة تربة الردم وتربة الأساس. كما يمكن التغلب على تأثير إضافة حمل الجسر على تربة ذات مقاومة ضعيفة للقص باستخدام المساطيح أو بتقليل انحدار الميول .

### ٣/٤/٣/٩ تغير الشكل

#### ٣/٤/٣/٩/أ مقدمة

يمكن حدوث تغير للشكل في مادة الجسر أو مادة الأساس أو كليهما، لذا يجب دراســة سلوك هذه المواد في مرحلة استكشاف الموقع لتحديد خصائص الهبوط لها. وتتوقف قيمة الهبوط المسموح بها على وظيفة الجســر والغرض من إنشائه (مثل حمل طريق مرور سريع أو خط سكك حديدية أو إقامة منشآت) . وفي بعض الحالات يكون من الضروري إحداث الجزء الأكبر من الهبوط قبل استخدام المنطقة المردومة. و يمكن إحداث هذا الهبوط بالانتهاء من أعمــال الردم في مرحلة مبكرة من مراحل التنفيذ على أن يتم الانتهاء من إعداد سطح الردم في المرحلة النهائية أو بزيادة ارتفاع الردم عن المطلوب وتركه لفترة كافية لحدوث الهبوط المطلوب ثم يزال الجزء الزائد.

#### ٣/٤/٣/٩/ب مواد الردم

للأنواع المختلفة من مواد الردم خصائص انضغاط متباينة ولذلك يجب إجراء اختبارات الانضغاط على عينات من مادة الردم مدموكة للدرجة التي سوف تنفذ في الطبيعة وذلك لحساب الهبوط. ويقلل الدمك الكافي الهبوط المتوقع للجسر . وتتوقف درجة الدمك التي نحصل عليها على محتوى الرطوبة لمادة الردم و على جهد الدمك المستخدم .

ويجب تجنب الخلط غير المميز لأنواع من التربة لها خصائص متباينة (مثل خلط الطين والطباشير أو خلط تربة متماسكة ذات محتوى رطوبة أعلى نسبيا من المتوسط مع تربة متماسكة ذات محتوى رطوبة أقل نسبيا من المتوسط) .

#### ٣/٤/٣/٩/ج مادة الأساس

يمكن تلخيص العوامل المختلفة التي تسبب الهبوط في مادة الأساس كما يلي:

١- التربة المتماسكة ذات القابلية العالية للانضغاط .

٢- المواد العضوية .

٣- التغير في منسوب المياه الجوفية نتيجة الضخ أو لأسباب طبيعية .

٤- الفجوات الأرضية الناتجة من أعمال التنقيب القديمة أو الفجوات الطبيعية .

٥- عمليات التنقيب أو حفر الأنفــاق.

ويجب اكتشاف هذه العوامل من خلال أعمـــال استكشاف الموقع .كما يجب إجراء الاختبارات المعملية و/ أو اختبارات الموقع اللازمة وذلك لأخذ هذه العوامل في الاعتبار عند تصميم الجسر.

### ٩/٣/٥ الصرف

#### ٩/٣/٥/١ مقدمة

من الضروري وضع أنظمة صرف منفصلة للتعامل مع المياه الجوفية وجريان المياه السطحية لكل من مرحلة الإنشاء ولضمان ثبات الجسر في المستقبل .

#### ٩/٣/٥/٢ الصرف السابق للأعمال الترابية

قبل إنشاء الجسر يجب التعامل مع المجارى المائية الموجودة ، مجارى التصريف ، نظـــام الصرف الزراعي تحـــت الأرض ، العيون ، البرك ، الخ بحيث تقام الأعمال الترابية بدون تأثير ضار على النظـــام العام لسريـــان المياه الأرضية . ويجب قطع المصارف الحقلية الموجودة في الموقع بواسطـــة مصارف تجميعية عبارة عن مواسير ذات وصلات مفتوحة توضع في خندق مليء بالزلط .

وعند ضرورة مد ماسورة تحت الجسر، يفضل أن تكون ذات مقاس كافٍ للسماح بإزالة أي انسداد عن طريق طرفي الماسورة . ولتجنب إتلاف المواسير الموضوعة في منسوب سطح الأرض أو على أعمـــاق بسيـــطة من جراء إنشاء الأعمال الترابية فوقها، يمكن حمايتها عند الضرورة بإحاطتها بغطاء خرساني او بأي وسيلة أخرى .

#### ٩/٣/٥/٣ الصرف المؤقت خلال الإنشاء

يجب عمل مصبات مؤقتة كافية لنظام الصرف الدائم عند تعذر إقامة المصبات الدائمة فورا. وخلال تكوين الردم يجب الاهتمام بترك المساحات التي لا يجرى العمل عندها مسطحة بقدر الإمكان.

وفي حالة التربة المتماسكة يجب فحص السطح قبل استئناف العمل للتأكد من عدم تواجد أسطح ضعيفة و يجب أيضا أن يميل السطح إلى الخارج لضمان عدم تراكم مياه الأمطار مما قد يسبب ضررا لمادة الردم . وعند إنشاء جسر من مواد قابلة للنحر في المناطق المعرضة للأمطار الغزيرة يفضل تجميع الماء في مجرى تصريف على محور الجسر مؤدى إلى مصب مناسب .

وفي أوقات الأمطار الغزيرة تجرى كميات كبيرة من الماء على ميول الجسر مما قد يسبب تحرا لمادة لردم . ولتخفيف هذه المشكلة عند ترك سطح الجسر لأوقات طويلة قبل استئناف العمل يمكن تكوين مجارى مؤقتة للتصريف نحو مصب مبطن عند أوطى نقطة مؤدى إلى مجرى مائي أو مجرى رئيسى للتصريف. وفى هذه الحالات فإنه يمكن منع إطماء أو تلوث المجارى المائية الموجودة بعمل برك ترسيب مؤقتة أو بتكوين مرشحات فى مجارى التصريف المؤقتة.

### ٤/٥/٣/٩ وسائل الصرف لتحسين و صيانة ثبات الجسر أو الردم

#### ٤/٥/٣/٩/أ الصرف الرأسي

عندما تكون النفاذية الأفقية للتربة غير كافية لتبديد ضغط مياه المسام الزائد فى الوقت المطلوب تبعا لبرنامج الإنشاء، فإنه من الممكن تقليل ضغط مياه المسام الزائد في تربة الأساس والناتج من حمل الجسر بالصرف الرأسي عن طريق المصارف الرملية أو المصارف الشريطية أو خنادق التصريف الضيقة المملوءة بمادة حبيبية مرشحة. ويجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتعامل مع الماء المنبثق الذي يمكن تجميعه بواسطة حصيرة صرف drainage blanket من مادة حبيبيـــة يتم تكوينها في قاعدة الردم مع استخدام مصبات ملائمة .

#### ٤/٥/٣/٩/ب الصرف الأفقي

يمكن تحسين الردم المكون من تربة متماسكة مبتلة عن طريق الصرف الأفقي باستخدام طبقات من مادة حبيبيـــة توضع على أعماق مختلفة في الجسر مما يقلل ضغط مياه المسام وبالتالي تزيد المقاومة ومعدل انضغاط تربة الردم . وفى هذه الحالة يجب توفير سبل تجميع الماء المنصرف كما يجب النظر إلى احتمال هروب الحبيبات الناعمة مع الماء المنصرف عبر طبقات المادة الحبيبية و لذلك يجب استعمال طبقة صرف من مادة حبيبية ذات تدرج مناسب أو بوضع غشاء نسيجي fabric membrane منفذ بين الردم وطبقة الصرف.

#### ٥/٥/٣/٩ الصرف الدائم

يجب عدم وضع المصارف والمرافق بالقرب من قدم الجسر في الحالات التي ينتظر فيها حدوث حركة أفقية للتربة نتيجة انفعالها الأفقي مما قد يسبب إجهادات زائدة على خطوط المواسير أو المنشآت الأخرى أو تحركها . و لمنع تسرب الماء من المواسير إلى الردم فى حالة حدوث هبوط يوصى باستعمال مواسير ذات وصلات مرنة بحيث تبقى هذه الوصلات غير مسربة للماء .

ويجب الاهتمام بتصميم نظام الصرف بجوار المنشآت حيث قد يتسبب الهبوط غير المتساوي في التسرب من المصارف مما يؤدى إلى هروب مواد الردم الناعمة .

### ٦/٥/٣/٩ اعتبارات الإنشاء

عند تنفيذ المصارف قبل استكمال أعمال الردم يجب عند ردم ودمك الجزء الباقي من الجسر في منطقة المواسير مراعاة عدم التسبب في أي إجهادات زائدة على المواسير .

### ٦/٣/٩ ظروف الموقع الخاصة المؤثرة على تصميم الجسر أو الردم

#### ١/٦/٣/٩ الردم فى الماء الراكد

يستخدم تعبير الماء الراكد للبرك والبحيرات والقنوات . وعندما يكون صرف الماء الراكد غير عملي أو غير اقتصادي يجب تحديد المنسوبين الأقصى والأدنى للماء بعناية كما يجب الاهتمام بمعرفة خصائص التربة تحت الماء عند تصميم الجسر . ويجب إزالـــة أي طمي أو طين لين أو تربة عضوية متفحمة، كلما أمكن ذلك ، قبل وضع الردم حيث أنه من الصعب دمك مادة الردم تحت الماء . ويجب اختيار مادة الردم من المواد التى تظل ثابتة عندما تغمر بالماء أو عندما تتواجد في مناطق يتغير فيها منسوب الماء وخاصة فى حالة المـــد والجزر فى الماء المالح، كالمواد الحبيبية أو كسر الخرسانة أو كسر الحجارة. ويجب اتخاذ الإجراءات التي تضمن تساوى منسوب الماء على جانبي الجسر سواء باستخدام مواسير أو حصائر صرف منفذة.

وفى حالة المسطحـــات الكبيرة من الماء الراكد، فقد يصبح استعمال الردم الهيدروليكي باستخدام نوع مناسب من المواد الحبيبية عمليا واقتصاديا (أنظر بند ٣/٦/٣/٩) . ويجب أن تكون جوانب الجسر الموجودة تحت الماء أقل انحدارا من الميل المطلوب فوق الماء، وأن تكون تلك الجوانب محمية من النحر ومن فعل الأمواج (أنظر بند ٤/٤/٧/٩).

#### ٢/٦/٣/٩ مياه المد و الجذر و مياه الفيضان

عند تصميم الجسور المعرضة لمياه المد والجزر فإن تأثير تذبذب منسوب المياه وحركة الأمواج يتطلب اتخاذ احتياطات واستعمال تقنيات خاصة مثل تلك الضرورية عند تصميم المنشآت البحرية. وحيث يمكن حدوث تغير مفاجئ في منسوب المياه يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتجنب النحر الخارجي ولاحتواء تأثير الانخفاض المفاجئ لمنسوب المياه.

ومن الممكن حدوث ذلك التغير عند وقوع الجسر فى سهل فيضاني flood plain حيث يكون الجسـر معظم الوقت قائما على أرض جافة ولكن في وقت الفيضان يمكن حدوث نحر لميول الجسر بجوار كوبري أو بربخ culvert نتيجة زيادة سرعة مياه الفيضان المارة خلال الفتحات. ولذلك يجب حماية جوانب الجسر باستعمال أحد الأساليب المناسبة (انظر بند ٤/٤/٧/٩).

### ٣/٦/٣/٩ الجسور المقامة على تربة لينة

تتضمن طرق إنشاء الجسور على تربة لينة ما يلي:

١- إزالة المادة اللينة بالحفر أو إزاحتها عن طريق التحميل بمواد مناسبة .

٢- عمل خندق واسع وعميق ومملوء بمادة حبيبية عند قدم الجسر .

٣- تحسين خواص تربة الأساس بالمعالجة المناسبة مثل إنشاء مصارف رأسية vertical drains لتعجيل التضاغط أو بالتعويم الاهتزازي vibroflotation (أى بتكوين أعمدة من كسر الحجارة داخل التربة اللينة) أو بالتضاغط الديناميكي أو بالتحميل المسبق بردم.

٤- التحكم في معدل الإنشاء بحيث يتوفر الوقت الكافي لتضاغط تربة الأساس حتى تزداد مقاومتها بدرجة كافية للمحافظة على الثبات. وفى هذه الحالة يوصى بمراقبة ضغط مياه المسام فى تربة الأساس ومراقبة التحركات الجانبية التي يمكن أن تحدث.

٥- تقليل حمل الجسر على تربة الأساس باستعمال ردم خفيف الوزن .

٦- عمل حصيرة صرف أفقية منفذة عند قاع الردم حتى تساعد على زيادة سرعـة تصريف الماء من قاعدة الجسر مما يساعد على ثبات الجسر . ويمكن وضع غشـاء من نسيج منفذ فوق التربة الطبيعية ثم وضع طبقة من مادة حبيبية فوق الغشاء . وقد يكون من الضروري الحذ من وزن المعدات التي تتحرك على الحصيرة أو على أى ردم محدود السمك فوقها .

٧- عندما تكون المساحة كبيرة فإنه يمكن تقليل الميل المتوسط للجسر بعمل مساطيح berms عريضة عند منسوب أو أكثر على جوانب الجسر .

٨- عدم التحميل على التربة اللينة عند سطح الأرض باستعمال بلاطات أو كمرات من الخرسانة المسلحة مرتكزة على خوازيق لنقل حمل الجسر إلى تربة قوية أسفل التربة اللينة . وهذه الطريقة مكلفة ولكنها في بعض الأحيان تكون أكثر اقتصاداً من الطرق الأخرى كأن تكون هناك أعماق كبيرة لتربة عضوية متفحمة يلزم إزالتها بالكامل.

### ٤/٦/٣/٩ الجسور المقامة على أرض منحدرة

يجب دراسة ثبات الأرض الطبيعية المنحدرة وخاصة تلك الواقعة فى مناطق معرضة للانزلاقات. وفي بعض الحالات يمكن مشاهدة دلائل على عدم الثبات فى صورة تموجات أرضية وتسرب مياه. ويجب دراسة الثبات الجيولوجي للأرض المنحدرة، كما يجب معرفةمدى احتمال تنشيط الانزلاقات القديمة تحت تأثير الأحمال الناتجة من إنشاء الجسر.

وربما تكون هناك خطورة انزلاق على السطح المنحدر الفاصل بين تربة الجسر وسطح الأرض الطبيعية. وفي هذه الحالة يجب تشكيل درجات أو مصاطب في ميل الأرض الطبيعية لضمان ربط تربة الجسر مع تربة الميل. و يفضل أن يكون للمصطبة ميل بسيط عكس اتجاه انحدار الأرض مع اتخاذ الإجراءات المناسبة لضمان صرف المياه التي قد تتجمع على الأجزاء المنخفضة من هذه المصاطب .

ولكي نتعامل مع مشاكل عدم الاتزان الخاصة بالأرض الطبيعية، فقد يلزم تصميم قطاعات الجسر بحيث يتم توزيع الحمل على الأرض بأمان . كما قد يلزم تحديد طريقة إنشاء الجسر لتجنب حدوث أي تحميل غير منتظم . ويجب إنشاء المصارف القاطعة تحت الأرض لصرف المياه عند السطح الفاصل بين الجسر و الأرض الطبيعية و أيضا عند مستويات الانزلاق المحتملة.

### ٥/٦/٣/٩ الجسور المقامة على أرض المحاجر

عند إقامة الجسور فوق أراضى المحاجر يجب أخذ ما يأتي في الاعتبار :

١- اختلاف مناسيب أرضية المحاجر و اختلاف نوعية التربة المترسبة والمياه الراكدة (انظر البند ١/٦/٣/٩). وإذا تواجدت المياه بمناسيب مختلفة على جانبي الجسر فيجب إنشاء مصارف ذات أقطار كبيرة تحت قاع الردم لتوحيد مناسيب المياه.

٢- المنطقة الانتقالية بين المحجر والأرض الطبيعية : ففي كثير من الأحيان يكون حد المحجر رأسيا أو شبه رأسى وبالتالى ورغم العناية بدمك الردم عند ذلك الحد فإن احتمال حدوث هبوط غير متساوي يكون كبيرا. ولذا يجب تنفيذ ميل أو تدرج لحد المحجر، إن أمكن ذلك مـــن الناحية العملية، حتى تكون هناك منطقة انتقالية متدرجة.

### ٦/٦/٣/٩ الجسور المقامة على أرض مردومة

عند إقامة الجسور على أرض مردومة يجب معرفة تاريخ الردم بالتفصيل و معرفة خصائص الردم بعمل حفر اختبار أو جسات . وعادة تكون المساحات المردومة قديما ذات خصائص

متغيرة بشـــدة، ويجب توجيه اهتمام خاص بدراسة الردم إذا كان هناك شك في وجود فضلات منزلية. و أحياناً يكون من الضروري عمل معالجة شاملة للردم قبل إنشاء الجسر و يتوقف ذلك على عمق وطبيعة الردم .ويعتبر التعويم الاهتزازي أو الدمك الديناميكي dynamic compaction من الطرق المناسبة للمعالجة فى بعض الحالات . ويمكن أن يتسبب تغير نمط الصرف خلال الردم نتيجة إقامة الجسر في خـــمر الردم و بالتالي انهيار تركيبه .

### ٩/٣/٦/٧ الجسور المقامة على مناطق تعدين أو فجوات أرضية

في المناطق التي تم بها عمليات تعدين بالقرب من فالق جيولوجي يزداد احتمال حدوث حركة لسطح الأرض قرب منطقة الفالق . ولذلك يلزم عدم السماح لمصارف الجســور بالامتداد عبر منطقة الفالق ويجب إنهاؤها على جانبي منطقة الحركة المحتملة وصرف كـــل منها فى مصبات منفصلة.

و تنشأ مشاكل الثبات بتواجد الآتي :

١- ممرات رأسية بالمناجم القديمة .

٢- دهاليز المناجم الضحلة .

٣- مناطق الانخساف subsidance المحتملة الناتجة عن عمليات التعدين الحالية أو المستقبلية .

٤- التجاويف الطبيعية الناجمة عن حركة المياه الجوفية فى التكوينات القابلة للذوبان كالحجر الجيري و الطباشير و الجبس .

### ٩/٣/٦/٨ الجسور المقامة على الكثبان الرملية

تتضمن طرق إنشاء الجسور على أرض من الكثبان الرملية الآتي:

١- فى حالة استخدام مواد ردم مناسبة (أنظر البند ٩/٣/٣/١) مستجلبة من خارج الموقع (شكل (٩-٣-١):

- يتم حفر نصف متر فى تربة الأساس ويتم وضع مواد الردم علىطبقات مع دمكها.
- يتم بعد ذلك وضع الردم على طبقات مع دمكها على ألا يزيد ميل الجوانب عن ٦ أفقي : ١ رأسي.

٢- في حالة استخدام الكثبان الرملية كمادة ردم (شكل ٩-٣-٢):

- يتم حفر نصف متر في تربة الأساس وتم وضع مواد الردم على طبقات مع دمكها.
- يتم وضع مواد الردم من الكثبان الرملية على طبقات لا يزيد سمك كل منها عن ٢٠ سم مع دمكها.
- يتم كذلك وضع مواد ردم مناسبة على الميول الجانبية على طبقات مع دمكها على ألا يزيد ميل الجوانب عن ٦ أفقي : ١ رأسي.

### ٩/٣/٧ ملاءمة المواد للردم

#### ٩/٣/٧/١ المواد غير الملاءمة

المواد الآتية غير مناسبة للاستخدام كمواد ردم تحت أى ظروف :

١- التربة العضوية مثل الخث (peat) و بعض أنواع الطين والطمي الرسوبية .

٢- المواد السامة مثل المخلفات الصناعية المحتوية على مواد قابلة للذوبان وضارة للزراعة أو ملوثة لمصادر المياه .

٣- المواد المحتوية على مركبات ضارة للعناصر الإنشائية الأخرى مثل مخلفات أعمال التنقيب عن الجبس التي قد تحتوي على نسبة عالية من الكبريتات القابلة للذوبان والمؤثرة على الخرسانات .

٤- المواد المحتوية على عناصر قابلة للذوبان أو الغسيل أو التي قد تتفتش عند توفر الرطوبة.

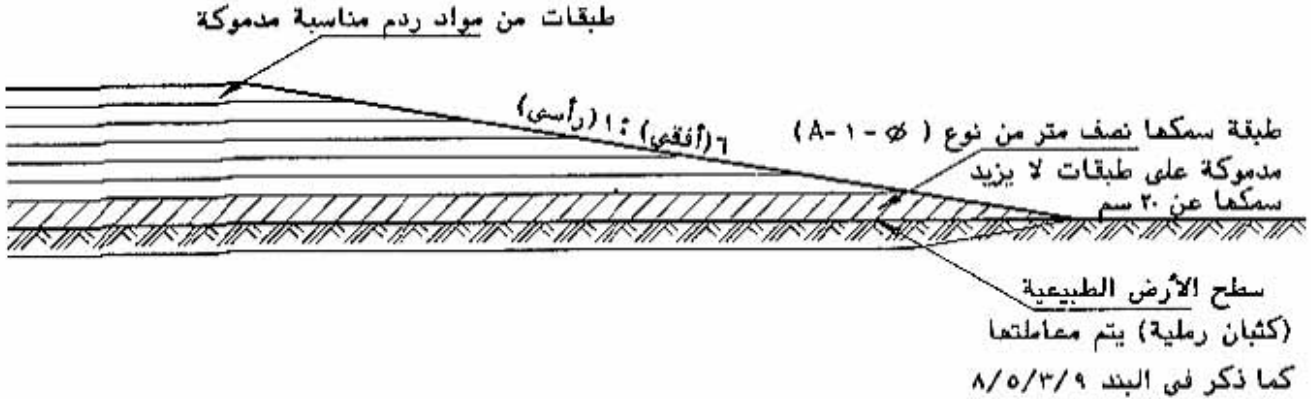
#### ٩/٣/٧/٢ المواد المناسبة

##### ٩/٣/٧/٢/أ المواد المناسبة تحت كل الظروف

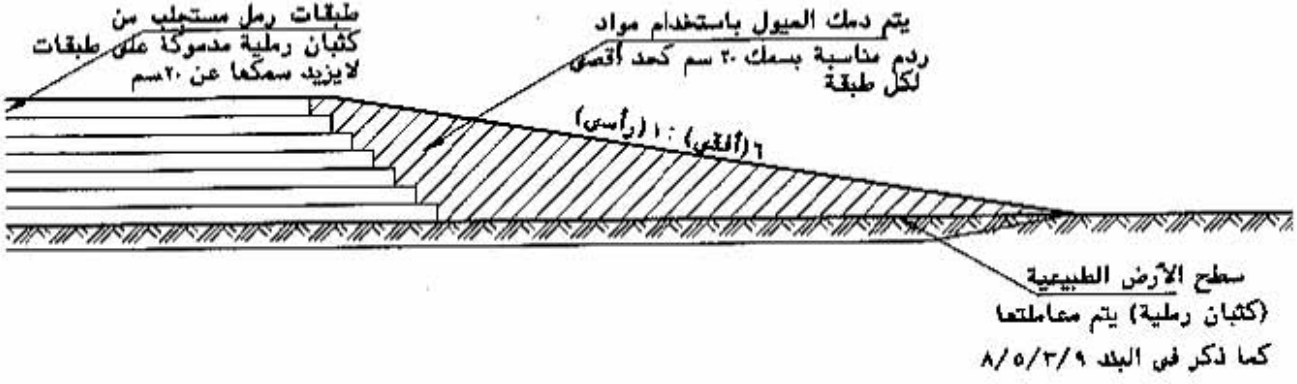
المواد ذات المقاومة العالية للقص التي لا تتأثر بالتغير في محتوى الرطوبة، فمثلا الصخور الصلبة والزلط والرمل المتوسط والخشن تعتبر مناسبة كمادة ردم تحت كل الظروف .

##### ٩/٣/٧/٢/ب المواد المناسبة في حدود مقاومة قص معينة

بعض المواد تظهر انخفاضا في مقاومة القص عند زيادة محتوى الرطوبة عن المحتوى الأمثل الذي يعطى أقصى كثافة جافة تحت مجهود دمك محدد مثل الرمل الناعم الطميي والطمي الرملي والطمي والطين وبعض الصخور المفتتة والضعيفة وذلك عندإعادة دمك هذه المواد.




شكل ( ٩-٣-١) ردم على كثبان رملية باستخدام مواد ردم مناسبة




شكل (٩-٣-٢) ردم على كثبان باستخدام مستجلب من الكثبان الرملية

في حالة التربة الطمية مثلا قد يتسبب زيادة محتوى الرطوبة ولـــو بقدر طفيف (١-٢%) في نقص ملحوظ في مقاومة القص . ويتحدد قبول مقاومة القص غير المصروف الأدنى للمادة المدموكة من عدمه حسب متطلبات تصميم العمـــل الترابي أو حسب الأحمال الناتجة من معدات الإنشاء .

**٣/٧/٣/٩ مواد مناسبة بشرط تطبيق إجراءات (تشائية خاصـــــة**

**٣/٧/٣/٩/أ مقدمة**

يمكن استخـــــدام المواد الآتية بشرط تطبيق الوسائل المذكورة في البنـــود ٣/٧/٣/٩/ب إلي ٣/٧/٣/٩/د :

١- الطباشير .

٢- الردم المتماسك المبتل .

٣- الردم الهيدروليكي .

**٣/٧/٣/٩/ب الطباشير**

من المهم عند حفر ونقل الطباشير المحافظة قدر الإمكان على التكوين الطبيعي للصخـــر. ويعتبر الطباشير من أصعب المواد المستخدمة في الأعمال الترابية حيث أن أي تكسير للتكوين ذو الخلايا في هذا الصخر يسبب خروج الماء الموجود فى الخلايا مما يؤدى الى تشبع الأجزاء المفتتة من الطباشير. ويجب تحديد نوعية الطباشير قبل اختيار نوع المعدات والطرق التى يلزم استخدامها فى أعمال الحفـــر والنقل والدمك .

ومن الممكن أن تسبب عمليات الحفر والتداول في تحويل الطباشير الكتلي السليم إلي ما يشبه معجون غير قابل لتحمل حركة المعدات . وفي هذه الحالة يجب تثبيته بتبادله مع طبقات من مواد حبيبية جافة أو تركة مدة كافية لتقليل ضغط مياه المســـــام ومحتوى الرطوبة.

وفي حالة زيادة محتوى الرطوبة الطبيعي للطباشير – خاصة الضعيف منه – فقد يلزم اللجوء إلى الآتى :

١- إجراء الحفر بجواريف مسطحة مما يؤدى إلي تقليل التفتت مقارنة بمعدات الحفر الأخرى.

٢- استخدام عربات نقل ذات وزن محدود مما يقلل الإجهادات المؤثرة على الطبقـــات الموضوعة .

٣- إجراء الدمك لكل طبقة بحيث يكون كافيا لتسوية السطح ولكن بدون أن يكون كافيا لتعجن الطباشير والتسبب فى عدم ثبات الأعمال الترابية .

**٩/٣/٧/٣/ج الردم المتماسك المبتل و ما يشابهه من الصخور الضعيفة**

قد يتسبب استخدام مواد الردم المتماسكة ذات مقاومة قص غير مصروف أقل من تلك المقبولة طبقا للبند ٩/٣/٧/٢/ب في مشاكل إنشائية كبيرة . ولذلك يجب تحديد معدات نقل الأتربة المسموح باستخدامها، كما يجب أن يتم الدمك بعناية حتى الوصول إلى كثافة مقبولة مع تجنب تكوين ضغط عالٍ لمياه المسام يؤدى إلى عدم الثبات. وقد يكون من الضروري إتخاذ إجراءات خاصة مثل استخدام طبقات بينيـــة ذات مقاومة عالية و/ أو حرة الصرف والتحكم في معدل الإنشاء .

**٩/٣/٧/٣/د الردم الهيدروليكى**

يطلق هذا الاسم على جميع أنواع مواد الردم التي تنقل إلى مكان إنشاء الجسر وتوضع فى مكانها وهي لا تزال معلقة في الماء . وعادة يجري الحفر عن طريق جرافة ثم تنقل مادة الردم إلي مكان ترسيبها عن طريق خطوط المواسير. ويجب التحكم في معدل ضخ مواد الردم فى منطقة الردم حتى لا يحدث انفصال حبيبي بسبب ترسيب الحبيبات الكبيرة أولا بينما تترسب تجمعات من الحبيبات الدقيقة بعيدا عن موضـــع الضخ .

وبالنسبة لمواد الردم الهيدروليكي الحبيبية التي ينزح منها الماء عن طريق الضخ أو الصرف بالجاذبية، فإنها تتضاغط بسرعـــة وتصل إلى درجة كافية من الكثافة بحيث يمكن تنفيذ المنشآت أو الرصف عليها بعد ترسيبها بزمن قليل.

وبالنسبة للردم المترسب فى الماء فإنه يكون فى حالة مفككة وعندما يكون فى معظمه من مواد حبيبية يمكن تحسين خصائصه عند الضرورة عن طريق الدمك الاهتزازي. أما فى حالة الردم الهيدروليكي المكون من مواد متماسكة، فقد يستمر الهبوط تحت تأثير وزنه لمدة طويلة و عندما يكون الهبوط الناتج غير مقبول يلزم عمل تحميل مسبق للردم.

### ٤/٩ الحفر والردم

### ١/٤/٩ التخطيط لأعمال الحفر والردم

#### ١/١/٤/٩ اعتبارات عامة

#### ١/١/٤/٩/أ نقل المعدات الثقيلة للموقع

يجب ألا تتعرض شبكة الطرق لإجهادات وأحمال تزيد عن المسموح به لهذه الطرق ، لذا يجب اختيار الطرق التى يمكن استخدامها فى نقل معدات الحفر والردم وكذلك اختيار وسائل النقل المناسبة بحيث لا تتسبب حركة نقل هذه المعدات من وإلى موقع المشروع فى إحداث أضرار لا داعى لها لشبكة الطرق والكبارى ، وقد يستدعى الأمر التنسيق مع هيئة الطرق والكبارى لتقوية وتدعيم الكبارى المقامة على الطرق الفرعية .

#### ١/١/٤/٩/ب المرافق العامة

يجب تنفيذ أعمال الحفر والردم بالتنسيق الكامل والتشاور المستمر مع الهيئات المعنية بالمرافق العامة والتى قد تتأثر بهذه الأعمال بحيث يتم حمايتها أو تحويلها طبقا لمتطلبات هذه الهيئات ، وقد يتطلب الأمر ضرورة القيام بأعمال استكشافية للتأكد من عدم تأثر هذه المرافق العامة بأعمال الحفر و الردم ، وتعامل المرافق الخاصة بنفس الكيفية وذلك بالتشاور مع أصحابها .

#### ١/١/٤/٩/ج الآثار والاكتشافات الأثرية

يجب التأكد من وجود آثار أو مواقع أثرية من عدمه داخل حدود الأعمال الترابية وذلك بالرجوع لهيئة الآثار فى المراحل الأولى من تخطيط الموقع ، وقد يستدعى الأمر تأخير البدء فى أعمال الحفر أو التوقف عن الأعمال بصورة مؤقتة لحين الحصول على التصريح بالبدء أو استمرار الأعمال بعد انتهاء هيئة الآثار من الأعمال الاستكشافية للآثار .

#### ١/١/٤/٩/د الطرق العامـــة

عندما يتطلب المشروع إنشاء طرق فرعية مؤدية إلى الطرق العامة حتى ولو كانت مطلوبة بصورة مؤقتة فإن تحديد موقع وتصميم هذه الطرق يجب أن يتم بموافقة الهيئة العامه للطرق والكبارى ، ويجب التنسيق مع إدارات المرور المختصة فى عمل برامج التنفيذ للأعمال الترابية التى تؤثر على المرور بالطرق العامة ، مع ضرورة استخدام اللافتات والعلامات الضوئية

والمرورية المتعارف عليها طبقا لتعليمات إدارات المرور. ومن ناحية أخرى فإنه يجب المحافظة على هذه الطرق نظيفة وخالية من الأتربة ونواتج أعمال الحفر .

**٩/٤/١/١/هـ مواقع مناطق الإمداد**

يجب أن تكون مواقع الإمداد بالأتربة ( المحاجر ) اللازمة لأعمال الردم وكذلك مواقع استقبال نواتج الحفر أقرب ما يكون لموقع المشروع حتى تتم أعمال النقل بدون استخدام الطرق العامة . كما يجب العناية بدراسة وفحص مواقع الإمداد بالأتربة اللازمة لأعمال الردم والتأكد من جودة هذه الأتربة وصلاحيتها وكفايتها لأعمال الردم المطلوبة . وقبل البدء فى نقل الأتربة من مواقع الإمداد يجب إحاطة هذه المواقع بأسوار لمنع المرور من خلالها . ويراعى الحفاظ على استقرار جوانب الحفر بمواقع الإمداد بالأتربة حتى لا تحدث انهيارات أو انزلاقات أرضية . كما يراعى عدم النزول بقاع الحفر أسفل منسوب المياه الجوفية حتى لا يتسبب ذلك فى تجمع المياه الأرضية مما قد يؤدى إلى التلوث البيئى . ويجب الإلتزام بقواعد الوقاية والأمان والسلامة للعاملين بمواقع الإمداد مثل ما هو متبع فى الأعمال الإنشائية وأعمال الحفر والتنقيب والمحاجر .

**٩/٤/١/٢ تخطيط العمل**

قبل البدء فى أعمال الحفر يجب تجميع كافة البيانات الخاصة بهذه الأعمال وإعداد الرسومات التنفيذية التى توضح مواقع الحفر والردم . ويجب تقسيم كل من أعمال الحفر والردم على هذه الرسومات التنفيذية إلى قطاعات ويتم فيها حساب كميات الأعمال الترابية لكل من الحفر والردم. وهذه البيانات جميعها ضرورية من أجل التخطيط الاقتصادى لتنفيذ المشروع . ويجب أن توضح هذه الرسومات التنفيذية القطاعات المختلفة لأعمال الحفر والردم فى حالة التعامل مع أنواع مختلفة من الأتربة والكميات المتوقع التعامل معها لكل نوع على حدة وذلك لتحديد أنسب المعدات للحفر وأعمال النقل وكذلك أعمال الردم والدمك لهذه الأتربة.

**٩/٤/٢ تجهيز الموقع**

**٩/٤/٢/١ مقدمة**

قبل البدء فى أى أعمال بالموقع يجب إقامة أسوار مناسبة ، تحيط بحدود موقع المشروع لتحديد أبعاد الموقع وحمايته وتأمين حركة المارة و معدات التشغيل . يلى ذلك وقبل البدء فى الأعمال

الترابية وضع أنظمة الصرف المنفصلة للمياه السطحية بحيث تقام الأعمال الترابية بدون الإضرار بالنظام العام لسريان المياه الأرضية ٠

**٩/٤/٢/٢ إخلاء الموقع**

يجب العناية بنقل وتخزين ما يمكن إعادة استخدامه داخل موقع أعمال الحفر والردم٠ كما يجب إخلاء وتطهير الموقع تمهيدا لتشغيل معدات الحفر والردم ويستلزم ذلك التخلص من بقايا الأخشاب وجذور الأشجار وكذلك رفع خطوط المواسير والمرافق العامة المدفونة بالموقع كما يستلزم إزالة أى أساسات قديمة بالموقع وذلك لضمان التشغيل الآمن للمعدات٠

**٩/٤/٢/٣ معالجة مسارات المجارى المائية**

قد تتطلب المحافظة على المجارى المائية أثناء تنفيذ الأعمال الترابية عمل تحويلة مؤقتة لمرور المياه لحين إنشاء العمل الصناعى الدائم ٠ وقد يتم تحويل المجرى المائي إلى قناة جديدة لسريان المياه حول أو من خلال الأعمال الترابية إلى مكان أخر ٠

وفى كل الأحوال يراعى أن يتم تطهير قاع وجوانب المجرى المائى الأصلى من الرواسب والمخلفات ويتم مد مواسير مفتوحة الوصلات يتم تغطيتها بمرشحات باستخدام تربة حبيبية كما يتم الردم حولها باستخدام تربة حبيبية مناسبة مع الدمك جيدا على طبقات وذلك لمنع أو تقليل الهبوط النسبى المحتمل حدوثه لخط المواسير المستحدث والأرض المحيطة٠ وإذا نتج عن هذه الأعمال تأثر أو قطع لمجارى الصرف الزراعية ، فيجب اتخاذ الإجراءات اللازمة لإصلاح أو استبدال المجارى المتأثرة ٠

**٩/٤/٢/٤ الفجوات الأرضية**

**٩/٤/٢/٤/أ الفجوات الطبيعية**

تنشأ الفجوات الطبيعية عادة نتيجة سريان المياه الأرضية خلال صخور قابلة للذوبان ٠ وقد تكون هذه الفجوات جافة أو تشكل مجارى مائية تحت سطح الأرض ، وفى الحالة الأخيرة يجب العناية بدراسة إجراءات ردم هذه الفجوات التى قد تمثل مجارى مائية تخدم مناطق سكنية

٩/٤/٢/٤/ب الفجوات الصناعية

تتكون الفجوات الصناعية بطرق مختلفة وقد تكون مسجلة ، كما فى حالة المناجم الحديثة ، و قد تكون غير مسجلة • ويمكن التعرف على أماكن وامتداد هذه الفجوات من خلال شبكة تقليدية من ثقوب الجسات أو حفر الاختبار أو بواسطة إحدى الطرق الجيوفيزيقية • ومن المفيد الرجوع إلى الهيئة المصرية العامة للمساحة أو هيئة المساحة الجيولوجية والتعدين وكذلك الرجوع إلى الخرائط المساحية و الجوية الحديثة ودراستها للتحقق من أماكن الفجوات وكذلك طبيعة الطبقات تحت الأرضية •

٩/٤/٢/٤/ج المعالجة

تتوقف عملية معالجة الفجوات على الظروف المحيطة بها، ويتطلب الأمر عادة الإستعانة برأى الخبراء المتخصصين • وإذا كانت هذه الفجوات جافة بصفة دائمة فإن طريقة المعالجة تعتمد على موقع الأعمال بالنسبة لهذه الفجوات •

ففى حالة وجود أساسات قديمة بالموقع أو منشآت تحت أرضية لعمق فى حدود مترين من سطح الأرض الطبيعية يتم إزالة هذه الأساسات بالكامل • وفى حالة استمرار هذه المنشآت الأرضية أو الأساسات القديمة لأعماق أكبر ، يتم إزالتها والردم مكانها بتربة حبيبية مناسبة أو باستخدام إحدى طرق الحقن •

وعند تخصيص تلك المناطق التى أعيد ردمها لإقامة منشآت عليها يراعى أن يكون الردم باستخدام مواد حبيبية مناسبة على أن تتم عملية الردم على طبقات مع الدمك جيدا باستخدام معدة دمك مناسبة طبقا للأصول الفنية و المواصفات • ولا يسمح باستخدام مخلفات أعمال الهدم والإزالة والتى تحتوى على كتل من الخرسانات أو المبانى أو الأخشاب فى أعمال الردم حيث أن استخدامها يؤدى إلى عدم ثبات هذه الأعمال • ويراعى أن يتم تسجيل أماكن الحفر والآبار حتى يتم اختيار أماكن المنشآت مستقبليا بعيدة ما أمكن عن هذه الحفر •

من ناحية أخرى فإن معالجة الآبار وآبار المناجم العميقة تتوقف على طبيعة الردم المستخدم والعمق اللازم حتى الوصول إلى الأرض السليمة ، وعموما فإنه يجب استخدام بلاطات خرسانية ذات جساءة مناسبة لتغطية الآبار دون الاعتماد على الردم الذى تم بداخلها •وفى حالة عدم تحديد أماكن و أبعاد الفجوات باستخدام إحدى الطرق المذكورة فى البند ٩/٤/٢/٤/ب، فإنه يمكن اللجوء للحقن تحت ضغط مناسب فى الأماكن التى يعتقد أن بها فجوات.

**٩/٤/٢/٥ معالجة التربة أسفل الردم**

بعد الانتهاء من أعمال المعالجة المذكورة للفجوات و تطهير الموقع وإزالة أى مواد غير صالحة للردم ، يتم دمك التربة بالموقع باستخدام معدة دمك مناسبة لتقليل مقدار الهبوط المتوقع للتربة أسفل الردم ٠

**٩/٤/٣ الحفر**

**٩/٤/٣/١ مقدمة**

تستخدم أنواع كثيرة من المعدات فى أعمال الحفر، و يعتمد استخدام أى منها لموقع ما على طبيعة التربة بموقع الحفر و الظروف البيئية السائدة ووسائل النقل المستخدمة ٠

**٩/٤/٣/٢ الحفر فى القطوع أو مناطق الإمداد**

عادة ما يتم التخلص من المواد المحفورة غير الملائمة لأعمال الردم خارج الموقع ٠ وفى هذه الحالة يجب ، تقليلا للنفقات ، أن يكون هذا المكان على حدود الموقع أو بأحد الأماكن المجاورة والتى يتم تسويتها ٠ ومن الأفضل والأوفر تخصيص مساحة من الأرض الفضاء بداخل الموقع حيث تتم تسوية ناتج الحفر غير المرغوب استخدامه فى أعمال الردم ٠ وفى كل الأحوال يجب مراعاة استقرار وتأمين ثبات هذه التربة واستخدام أسلوب الصرف المناسب للمياه السطحية بهذه المساحات ، كما يجب تجنب رفع منسوب الردم حول الأشجار الموجودة بالموقع والمراد الإبقاء عليها ٠

**٩/٤/٣/٣ الحفر تحت الماء**

عندما يتطلب الأمر الحفر تحت الماء تستخدم عادة حفارات أو كباشات ٠ وقد تتطلب المساحات الواسعة أو العميقة من المياه ضرورة استخدام الكراكات العائمة أو معدات الحفر التقليدية المركبة على زوارق مسطحة القاع ٠ وأحيانا تستخدم الخوازيق اللوحية والسدود المحيطة والقيسونات بالإضافة إلى مضخات ووسائل فنية خاصة أخرى لإتمام أعمال الحفر فى ظروف جافة بدلا من الحفر تحت الماء وذلك عندما يؤدى استخدام هذه الطرق إلى سهولة فى الحفر وتوفير فى التكاليف الإجمالية خاصة عند أخذ المخاطر المحتمل التعرض لها عند الحفر تحت المياه فى الاعتبار ٠

### ٤/٣/٤/٩ الحفر فى الصخر

تختلف طرق التكسير والتفتيت والحفر فى التربة الصخرية والمواد الصلبة المشابهة باختلاف الظروف المحيطة وحجم وصلابة التربة الصخرية المراد تفتيتها أو الحفر فيها وكذلك أنواع المعدات المتاحة لذلك . ويجب تفتيت الصخر إلى أحجام مناسبة لعملية النقل والردم والدمك .

ويمكن تفتيت الصخور الضعيفة كثيرة الوصلات باستخدام معدات الحفر السطحى أما فى حالة الكتل الصخرية الكبيرة فيمكن تفتيتها بواسطة المعدات الثقيلة أو التفجير .

وعندما تصبح هذه الطريقة غير عملية خاصة فى حالة الخنادق والمساحات الضيقة فإنه يمكن تفتيت هذه الصخور بإحدى الطرق الآتية :

١- باستخدام كسارات الرصف الهوائية أو الهيدروليكية أو الميكانيكية .

٢- التفتيت يدويا باستخدام الخوابير والمطارق والمعاول والقضبان الحديدية .

٣- عمل ثقوب مناسبة باستخدام المثاقب الهوائية وتفتيت الصخر من خلال هذه الثقوب باستخدام التفجير المحدود بواسطة المواد المتفجرة أو المفجرات الهيدروليكية .

### ٤/٤/٩ نقل الأتربة

عند نقل الأتربة من موقع الحفر إلى مكان وضعها الدائم أو المؤقت ، ورغم أن إعادة النقل لهذه الأتربة يرفع التكلفة ، إلا انه ليس من الممكن فى جميع الحالات أن يتم نقل نواتج الحفر من خلال عملية نقل واحدة . وعموما يجب نقل نواتج الحفر بطريقة سريعة واقتصادية إلى موقعها النهائى سواء كان ذلك داخل أو خارج موقع الإنشاء .

ويجب أن تأخذ عملية نقل الأتربة فى الاعتبار ما يلى :

١- نتائج الاختبارات المختلفة للطريق المناسب بين موقعي الحفر والردم .

٢- تحديد نوع وكمية الأتربة المنقولة من نواتج الحفر عبر كل من الطرق المتاحة.

٣- دراسة الجانب الاقتصادى من حيث استخدام الطرق المتاحة أو إنشاء طرق خاصة لعملية نقل الأتربة الناتجة من الحفر أو استعمال المساحات الموجودة بالموقع .

٤- مدى توافر المعدات المناسبة لنقل هذه الأتربة .

٥- دراسة الظروف الجوية والتى قد تؤثر على عملية نقل هذه الأتربة .

٦- مراعاة الاعتبارات البيئية ، مثل الضوضاء ، والتى قد تؤثر بصورة مباشرة على إختيار نوع معدات وطرق نقل هذه الأتربة .

ويلزم اعتبار أن حركة معدات نقل الأتربة لها تأثير على تتابع وطرق تنفيذ الأعمال الأخرى بالموقع ، كما أن لهذه المعدات تأثيرها على حالة وثبات التربة التى تمر عليها ويجب أخذ ذلك فى الاعتبار عند تصميم هذه الطرق ، وتجدر الإشارة إلى أنه يحظر مرور بعض المعدات الشائع استعمالها فى الأعمال الإنشائية على الطرق العامة .

ويراعى عند تشكيل قطاعات الأتربة بالأبعاد والمناسيب المطلوبة عدم تركها طويلا لتفادى التأثير السيء للعوامل الجوية عليها . فهذه القطاعات من الأتربة المعرضة للعوامل الجوية قد يحدث لها انتفاش نتيجة للأمطار أو تشققات نتيجة لتعرضها للحرارة أو الرياح الجافة،كما أن تخفيف ضغط التراب نتيجة لأعمال الحفر قد يؤدى إلى انتفاخ التربة عند قاع الحفر ، وبعض أنواع التربة الطينية لها قابلية للتشقق مما يسمح بمرور المياه السطحية من خلال هذه التشققات ويؤدى ذلك الى تلين هذه التربة . لذلك فإن القطاعات التى يتم تشكيلها من الأتربة يجب حمايتها بأسرع ما يمكن عند تعرضها للعوامل الجوية . وتأخذ أعمال الحماية أشكالا كثيرة منها تنفيذ فرشة من الخرسانة العادية فى حالة إذا كان من المخطط تنفيذ منشأ خرساني فوقها ، أو تغطية السطح بالبيتومين أو القار ، أو تغطيته بطبقة التأسيس كما فى حالة مشروعات الطرق. ومن المفضل فى حالة كل من القطوع والجسور أن يتم حفر التربة أو ردم الجسر إلى منسوب أعلا قليلا من المنسوب النهائى المطلوب على أن يتم تشكيل المنسوب النهائى بإزالة الأتربة الزائدة فى آخر وقت ممكن قبل استكمال باقي الأعمال.

### ٥/٤/٩ أعمال الردم وفرد الأتربة

تتوقف كيفية تنفيذ أعمال الردم وفرد الأتربة على المعدات المتاحة والطرق المستخدمة لنقل هذه الأتربة . وأكثر الطرق قبولا والتى يتم من خلالها تشكيل الجسور والمساحات ذات الأعماق الكبيرة من الردم هى فرد الأتربة على طبقات متساوية قدر الإمكان مع دمكها باستخدام معدة دمك مناسبة طبقا للأصول الفنية والمواصفات . ويعتمد سمك هذه الطبقات على نوع الأتربة المستخدمة فى الردم وسلوكها مع عملية الدمك وكذلك معدات الدمك المتوفرة .

ويجب تجنب تغير محتوى الرطوبة للتربة نتيجة التعرض للعوامل الجوية قدر الإمكان وذلك باستخدام مواد مناسبة بعد الحفر مباشرة . وعموما فإنه من الناحية العملية يعتبر ضبط المحتوى المائى للتربة خلال عمليات النقل غير عملي وغير اقتصادي أيضا إلا فى ظروف خاصة وعلى نطاق محدود .

وتتوقف قيمة الهبوط المسموح به للردم المدموك على الغرض الذى ستستخدم فيه منطقة الردم. فعلى سبيل المثال فى حالة استخدام منطقة الردم كأرض فضاء خالية من المنشآت يمكن السماح فيها بهبوط كبير القيمة بشرط عدم الإضرار بنظم الصرف أو ثبات الردم. ويجب اختيار مواد الردم بحيث يمكن استغلال الردم بكفاءة مع أخذ التغير فى خواص المقاومة والانضغاط لهذه المواد فى الاعتبار ، فمثلا يجب استخدام مواد ردم ذات مقاومة عالية للقص فى حالة تعرض الردم لإجهادات عالية . وفى بعض الأحوال يمكن تحسين الخواص الميكانيكية للتربة الطينية بخلطها بالمواد الحبيبية أو تثبيتها بإضافة الأسمنت أو الجير أو مواد أخرى مماثلة على أن يتم تقييم نتائج هذه الوسائل المختلفة عن طريق الاختبارات الحقلية والمعملية .

وقد تستلزم ظروف الموقع تكوين مخزون احتياطى stockpile من بعض الأتربة للاستخدام مستقبلا وهذا يتطلب مزيدا من الأعمال بالإضافة لأعمال الحفر كأعمال المناولة والنقل والفرد والدمك . إلا أنه فى بعض الحالات تعتبر هذه الأعمال الإضافية من الناحية الاقتصادية أرخص فى التكلفة من التخلص من ناتج الحفر والردم باستخدام تربة موردة من خارج الموقع .

ويجب العناية باختيار أماكن المخزون الاحتياطي من نواتج الحفر سواء كانت داخل أو خارج الموقع بحيث يمكن الوصول إليها دون معوقات مع تقليل الأعمال الإضافية المطلوبة.

ويراعى أخذ الاحتياطـات الضرورية اللازمة لضمان ثبات هذه الأماكن مع أخذ قدرة تحمل التربة الأصلية أسفل المخزون الاحتياطي وتأثير هذا المخزون على الصرف بالمنطقة فى الاعتبار. وقد يكون من الضرورى إجراء دمك جزئي لهذا المخزون للحفاظ على ثباته كما قد يلزم توفير حماية مناسبة للحفاظ على جودة المخزون وعدم تأثره بالعوامل الجوية أو تلوثه.

### ٦/٤/٩ ضبط الجودة

#### ١/٦/٤/٩ التجارب الأوليـــة

فى حالة عدم توافر خبرة مسبقة تساعد على اختيار المعدات المستخدمة وطرق الإنشاء المناسبة لأنواع معينة من التربة المستخدمة فإنه يفضل إجراء تجارب أولية لعملية الدمك باستخدام معدات مختلفة وأنواع مختلفة من التربة يتم فردها على طبقات بأعماق مختلفة وذلك وصولا لأكثر الطرق اقتصادية فى التشغيل وكذلك لتحديد مدى ملاءمة الأتربة المستخدمة فى عملية الردم والدمك تحت الظروف الجوية والبيئية المختلفة وكذلك التغيرات التى قد تحدث نتيجة الظروف الحقلية المختلفة .

### ٢/٦/٤/٩ الطرق المستخدمة فى رصد ومراقبة تغير الشكل والإجهادات

قد يكون من الضرورى مراقبة ورصد الهبوط ومدى ثبات كل من أعمال الردم وتربة الأساس أثناء وبعد الإنشاء ، وتتوقف فترة وطريقة المراقبة والرصد على طبيعة التربة بالموقع وطبيعة المنشأ والدقة المطلوبة فى هذه الأعمال ، فقد يتم قياس المناسيب لمجموعة من النقط مثبتة على الردم على فترات زمنية منتظمة لتقدير زمن توقف الهبوط من الناحية العملية أو متى أصبحت قيم الهبوط مسموحا بها ، أو قد تثبت مجموعة من الأجهزة لقياس كل من الضغوط والهبوط الحادث بدقة لكل من التربة التحتية وتربة الجسر ، وتعتبر المسامير الحديدية المثبتة فى الكتل الخرسانية نقطا ثابتة وملائمة لقياس هذه المناسيب ،

ويمكن استخدام أجهزة رصد وقياس الهبوط والإزاحة الجانبية وكذلك أجهزة قياس تلاشى ضغط مياه المسام أثناء عملية الإنشاء للتحكم فى معدلات أعمال الردم ولضمان استمرار الثبات للأعمال وأيضا للتحقق من دقة الافتراضات المبنية على الاختبارات المعملية التقليدية التى تم اتباعها فى التصميم ،

وعادة تستخدم أجهزة الرصد والقياس الآتية :

١- البيزومترات لقياس ضغط مياه المسام ،

٢- مقاييس الهبوط لقياس الهبوط ،

٣- مقاييس الميل لقياس الحركة الجانبية ،

٤- خلايا قياس ضغط التراب لقياس الإجهاد الكلى ،

هذا وتوجد برامج حاسبات آلية لتحليل الثبات والهبوط لمراحل أعمال الردم المختلفة ولتحويل قراءات الأجهزة سريعا إلى معاملات أمان وذلك لاستخدامها فى ضبط الجودة أثناء التنفيذ ،

### ٣/٦/٤/٩ الأعمال الترابية المجاورة للمنشآت

تتم الأعمال الترابية المجاورة للمنشآت بصفة عامة منفصلة عن الأعمال الترابية الرئيسية ويمكن تقسيمها كالآتي :

١- الردم حول وفوق المواسير والبرابخ الكبيرة سواء الخرسانية أو المعدنية ، وفى هذه الحالات يراعى أن يتم الردم بالتساوي على جوانب المنشأ لتجنب التحميل غير المتزن ، كما يراعى العناية بالطبقات الأولى من الردم أعلى هذه المنشآت ،

٢- الردم خلف الأكتاف والحوائط الجانبية للكباري والحوائط الساندة بكل أنواعها،

٣- الردم حول وبين الأكتاف الهيكلية والركائز المدفونة ،

وحيث أن الوصول إلى درجة دمك مقبولة للردم المجاور للمنشآت تتم بصعوبة بسبب ضيق الحيز والقيود على عملية الدمك ، فإنه من الطبيعى تحديد أنواع خاصة من التربة المستخدمة فى الردم مثل التربة الحبيبية المنتقاة وذلك للاستخدام فى الردم للمنطقة المجاورة للمنشأ مباشرة • ويعتبر الوصول إلى درجة دمك مقبولة تؤدى إلى أدنى هبوط متفاوت بين الردم الخلفي والمنشأ المجاور من الأهمية بحيث يستحق بعض التكاليف الإضافية • وقد يستلزم الأمر تغير معدة الدمك المستخدمة وكذلك طريقة الدمك عن تلك المستخدمة فى إنشاء الجسور ، ويجب أخذ احتمال تولد قوى أفقية على أساسات المنشآت الضحلة منها والعميقة مثل الخوازيق فى الاعتبار •

**٤/٦/٤/٩ الحفر والردم الضحل**

بصفة عامة يمكن استخدام معظم أنواع التربة ، عندما تكون فى حالة مناسبة ، فى أعمال الردم بارتفاع حتى خمسة أمتار لتحمل الأحمال الخارجية بشرط العناية بتربة الأساس والدمك والميول الجانبية • أما فى حالة الردم بارتفاع فى حدود مترين فيجب اتخاذ احتياطات خاصة للأسباب الآتية :

١- غالبا ما تكون التربة أسفل التربة العلوية مباشرة ذات مقاومة قص أضعف من مقاومة التربة تحتها، وأيضا فإنه غالبا ما يكون لها محتوى رطوبة متغير مما يؤثر على سلوك هذه التربة تحت ظروف التشغيل •

٢- فى حالة إنشاء الجسور الكبيرة فإنه يمكن استخدام تربة ضعيفة نسبيا للردم فى أماكن لا تضر بثبات الجسر أو يمكن خلط هذه التربة بتربة أفضل تحسن من خواصها • أما فى حالة الحفر والردم الضحل فقد لا يكون من الممكن تنفيذ ذلك وقد تنشأ بعض المشاكل نتيجة استخدام هذه التربة الضعيفة نسبيا •

٣- يجب العناية باختيار معدات نقل ودمك الأتربة وكذلك تنظيم عمليات وضع ودمك الردم لتلافى إحداث إجهادات زائدة على التربة التحتية الضعيفة نسبيا•

ومن الضرورى عدم إحداث أضرار بنظم الصرف الموجودة بالموقع أو تلك المرتبطة بأعمال الردم ويلزم حمايتها• كما يجب أخذ الاحتياطات اللازمة للوصول إلى أدنى هبوط متفاوت حفاظا على ثبات الردم ونظم الصرف•

### ٩/٤/٦/٥ الأعمال الترابية المجاورة للممتلكات

يجب أخذ الاحتياطات اللازمة عند تنفيذ أى أعمال مجاورة لممتلكات قائمة وذلك لمنع الأضرار وتقليل الإزعاج لهذه الممتلكات . وهناك مشاكل خاصة مرتبطة بالأعمال الترابية مثل انتشار التراب والاهتزازات والضوضاء .

١- التراب : فى حالة الجو الجاف يتم استخدام الرش بالمياه للإقلال من انتشار التراب مع ضرورة تجنب الرش الغزير بالمياه لمنع مشاكل الانزلاق .

٢- الاهتزازات : قد تتسبب الاهتزازات الناتجة عن عمليات الدمك أو استخدام المعدات الثقيلة فى إحداث أضرارا للممتلكات المجاورة لهذه الأعمال . لذلك قد يفضل تجنب هذه المشاكل باستخدام الدمك الاستاتيكى وكذلك اختيار نوع مناسب من معدات نقل الأتربة.

٣- الضوضاء : يجب اتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من الضوضاء بالموقع .

ولتجنب المنازعات مع ملاك وسكان المنشآت المجاورة لموقع الإنشاء ، يوصى بالتنسيق معهم وبذل كل جهد لتقليل أى أضرار أو ضوضاء تنجم عن الأعمال الترابية . كذلك يجب كلما أمكن ذلك تحديد أوقات العمل بساعات العمل المعتادة وتجنب العمل ليلا أو فى أيام العطلات . كما يجب إجراء حصر لكل الممتلكات المجاورة لموقع الأعمال والتى من المحتمل أن تتأثر بهذه الأعمال قبل بدء العمل، مع ضرورة تسجيل أى شروخ ومتابعة أى تغيرات أو مشاكل تحدث بهذه المنشآت أو الممتلكات وضرورة التنسيق والإتفاق على نتائج أعمال الرصد والمتابعة بين الملاك ومقاولى التنفيذ والجهة المالكة لهذه الأعمال .

### ٩/٤/٧ الجو الرطب أثناء الإنشاء

فى الأعمال الترابية يجب أن يتم تشكيل مسطحات القطوع والردم بحيث يساعد اتجاه السطح ودرجة استوائه على طرد المياه السطحية بدلا من تجمعها سواء كانت هذه المياه من الأمطار أو من أى مصدر مجاور . وقد يتطلب الأمر تنفيذ خنادق للصرف سواء كانت بصفة مؤقتة أو دائمة وذلك لصرف المياه بعيدا عن الأعمال الترابية خاصة أعمال إنشاء الطرق والمطارات حيث يجب تنفيذ المصارف بأسرع ما يمكن فى بداية تنفيذ الأعمال للحفاظ على الأعمال الترابية وطبقة التأسيس خالية من المياه المتجمعة . ويساعد الدمك المستمر أثناء عمليات الردم على تكوين سطح مناسب لصرف المياه السطحية .

ويوصى عند حفر القطوع بعمل مجرى طولى له مخرج للتخلص من المياه السطحية ، كما أنه من الأفضل إنشاء قناة صرف للتخلص من المياه السطحية أثناء تنفيذ الأعمال • ومن ناحية أخرى فإنه يجب حفر خنادق فى قاع الحفر لتصريف المياه الى قناة أو بيارة الصرف ويجب أن تكون هذه الخنادق خالية من العوائق التى تؤثر على عملية الصرف طوال فترة تنفيذ الأعمال •

وفى حالة تعارض إنشاء القطوع مع مصارف أو مجارى مائية قائمة فإنه يجب إما تحويل مياهها إلى المصارف الدائمة المنفذة فى القطوع أو إنشاء مصارف طولية أعلى هذه القطوع بشرط ألا تؤثر على ثبات الميل لهذه القطوع على المدى البعيد • ويراعى أن يتم تنفيذ أعمال الحفر بحيث لا تتجمع المياه بل تصل بيسر إلى قنوات أو مجارى الصرف التى تم توفيرها •

كذلك يجب مراعاة الظروف المناخية عند تنفيذ الأعمال الترابية • فقد تؤثر مياه الأمطار على المساحات المكشوفة من التربة الطينية مما يعوق تشغيل معدات النقل والدمك بالموقع، خاصة فى حالة أعمال الطرق والمطارات التى تتأثر تأثرا مباشرا بفترات سقوط الأمطار نتيجة الاستخدام المكثف للمعدات ذات الإطارات الهوائية pneumatic-tyred plant •

### ٩/٤/٨ طرق النقل

تنشأ طرق النقل بحيث تتحمل مرور معدات التشغيل إلى موقع الأعمال تحت الظروف المناخية المختلفة • ويجب مراعاة موازنة تكاليف الإنشاء الأولية لهذه الطرق مع تكاليف الصيانة اللازمة للاحتفاظ بحالة هذه الطرق فى مستوى يلائم استخدام معدات التشغيل لها• وتعتبر عملية صيانة سطح هذه الطرق والمحافظة على انتظام ذلك السطح ضرورية للإقلال من استهلاك المعدات و تحقيق أقصى استفادة من سرعة معدات نقل التربة • وفى حالة الطرق الترابية ، فإنه يجب تهذيبها بصفة منتظمة باستخدام آلة تسوية grader لتجنب تدهورها تحت تأثير أحمال المعدات المارة. و يمكن الإقلال من تطاير الأتربة فى حالة الطرق الترابية بالإكثار من رش المياه أو برش طبقة سطحية من البيتومين . وفى حالة تقاطع طرق النقل مع طريق عام ، فقد يكون من الضرورى تقوية هذا الطريق لتحمل سير معدات التشغيل •

### ٩/٤/٩ الأعمال الترابية الأولية

فى حالة إنشاء جسر ترابي على تربة طينية لينة أو أى تربة أخرى غير ملائمة ، فإنه من الممكن تجنب إزالة هذه التربة فى حالة إمكانية إنشاء هذا الجسر مبكرا قبل الأعمال الترابية

الأخرى حيث أن تحميل هذه التربة مبكرا يتسبب فى تضاغطها وبالتالى تقليل الهبوط المتوقع بعد الانتهاء من الإنشاء .

### ١٠/٤/٩ الإنشاء على مراحل

يمكن إنشاء جسر على تربة ضعيفة نسبيا على مراحل فى حالة عدم التأكد من مدى ثبات هذا الجسر . وفى هذه الحالة يتم وضع بيزومترات على امتداد الجسر لمراقبة تلاشى ضغط مياه المسام الزائد الناتج عن إنشاء مرحلة من الجسر وبالتالى يتم ضبط معدل وضع طبقات الردم المكونة للجسر . وفى حالة عدم المراقبة أو الرصد يتم الإلتزام بفترات انتظار محسوبة بين وضع الطبقات المتتالية للردم للسماح بتلاشى ضغط مياه المسام الزائد .

### ١١/٤/٩ التخلص من نفايات الحفر

تشكل عملية التخلص من نفايات الحفر spoil جزء هـــام من برنامج الأعمال الترابية فى أى مشروع من المشروعات الكبرى . وعادة ما تتكون هذه النفايات من مواد لا تصلح للاستخدام فى إنشاء الجسور وذلك نتيجة اخواصها الطبيعية. وأحيانا تتكون هذه النفايات نتيجة زيادة كميات الحفر عن الكميات المطلوبة لأعمال الردم بالمشروع . ومن الناحية الاقتصادية يجب أن يكون مكان التخلص من هذه النفايـــــات قريبا من مكان الحفر لتقليل مسافة النقل . كما يمكن استخدام هذه النفايات فى تسوية الأراضى المنخفضة المجاورة .

وفى المناطق الريفية والزراعية يجب اختيار المقالب و أماكن التخلص من النفايات tips فى الأماكن ضعيفة الإنتاج . كما يمكن استخدام النفايات فى ملء الحفر القديمة أو رفع مستوى الأراضى منخفضة المنسوب بغرض استغلالها فى المستقبل. وفى حالة التخلص من هذه النفايات فى أماكن ستستخدم فيما بعد للنمو العمراني فيجب قدر الإمكان وضع ودمك هذه النفايات على طبقات كما هو موضح فى البند (٩/٥) .

وفى حالة احتواء النفايات على مواد قابلة للاشتعال فيجب أن توضع هذه النفايات بحيث يتم تجنب حدوث حرائق تحت الأرض فى المستقبل . فمن الممكن مثلا أن يتم دفن النفايات تحت منسوب المياه فى المحاجر أو الأنهار أو المجارى المائية أو أى أماكن أخرى ذات منسوب ماء مرتفع بشرط ألا تلوث المواد القابلة للذوبان المياه المحيطة . ولكن فى أغلب الأحيان يتم وضع هذه النفايات فوق منسوب المياه الجوفية ولذلك يجب تحقيق أقل نسبة فراغات هوائية ممكنة للإقلال من مخاطر الاشتعال .

ويجب وضع المواد القابلة للاشتعال بين مواد غير منفذة وغير قابلة للاشتعال مع دمكها على طبقات ويجب ألا يزيد سمك الطبقة القابلة للاشتعال عن واحد متر . ويجب تغطية سطح هذه الطبقة فى نهاية كل يوم عمل بنصف متر على الأقل من مواد غير قابلة للاشتعال مثل التربة المتماسكة أو الحبيبية الدقيقة حتى لا تؤدى أى حرائق على السطح إلى اشتعال الطبقات أسفلها. ومن ناحية أخرى فإنه يجب بالمثل تغطية جوانب الميول بما لا يقل عن ٠,٣٠ متر من الرمل الناعم أو الناتج من كسر الحجر للتحكم فى منع وصول الهواء واندلاع الحرائق .

ويراعى أن يتم توفير نظام صرف مؤقت ملائم لمقالب هذه النفايات لصرف المياه السطحية حتى لاتؤثر هذه المياه على الأراضى المجاورة أو تلوث المجارى المائية سواء كيميائيا أو نتيجة المواد الصلبة العالقة .

ويجب تقليل الأتربة والضوضاء الناتجة عن حركة معدات نقل النفايات لأقل ما يمكن للحد من تأثيرها البيئى .

وتعتبر عملية التخلص من النفايات خارج الموقع جزء من تصميم المشروع ويجب إعداد الترتيبات الخاصة بها قبل البدء فى العمل . كما يجب عند اختيار المقالب التأكد من أن عملية وضع النفايات لا تؤدى إلى إحداث أو تساعد على إعادة تنشيط إنهيارات أرضية أو أي تحركات أخرى . وكذلك يجب مراعاة عدم الإضرار بالنظم الموجودة للصرف السطحى وكذلك نظم الصرف تحت سطح الأرض .

### ٩/٥ الدمك

#### ١/٥/٩ مقدمة

دمك التربة هى العملية التى تتداخل بواسطتها حبيبات التربة بإحكام عن طريق تقليل حجم فراغاتها سواء باستخدام هراسات rollers أو بطرق ميكانيكية أخرى .

وترتبط الخواص الهندسية للتربة والصخور المستخدمة فى الردم ( مثل مقاومة القص – خصائص التضاغط – النفاذية – الخ ) بمقدار الدمك الذى حدث لها . ويؤدى الدمك الجيد إلى :

١- تقليل تكلفة الصيانة .

٢- تقليل مخاطر انهيارات الانزلاق .

٣- السماح للمنشآت الدائمة مثل الطرق والمبانى أن تنشأ بدون تأخير .

ويجب وضع المواد القابلة للاشتعال بين مواد غير منفذة وغير قابلة للاشتعال مع دمكها على طبقات ويجب ألا يزيد سمك الطبقة القابلة للاشتعال عن واحد متر . ويجب تغطية سطح هذه الطبقة فى نهاية كل يوم عمل بنصف متر على الأقل من مواد غير قابلة للاشتعال مثل التربة المتماسكة أو الحبيبية الدقيقة حتى لا تؤدى أى حرائق على السطح إلى اشتعال الطبقات أسفلها. ومن ناحية أخرى فإنه يجب بالمثل تغطية جوانب الميول بما لا يقل عن ٠,٣٠ متر من الرمل الناعم أو الناتج من كسر الحجر للتحكم فى منع وصول الهواء واندلاع الحرائق .

ويراعى أن يتم توفير نظام صرف مؤقت ملائم لمقالب هذه النفايات لصرف المياه السطحية حتى لاتؤثر هذه المياه على الأراضى المجاورة أو تلوث المجارى المائية سواء كيميائيا أو نتيجة المواد الصلبة العالقة .

ويجب تقليل الأتربة والضوضاء الناتجة عن حركة معدات نقل النفايات لأقل ما يمكن للحد من تأثيرها البيئى .

وتعتبر عملية التخلص من النفايات خارج الموقع جزء من تصميم المشروع ويجب إعداد الترتيبات الخاصة بها قبل البدء فى العمل . كما يجب عند اختيار المقالب التأكد من أن عملية وضع النفايات لا تؤدى إلى إحداث أو تساعد على إعادة تنشيط إنهيارات أرضية أو أي تحركات أخرى . وكذلك يجب مراعاة عدم الإضرار بالنظم الموجودة للصرف السطحى وكذلك نظم الصرف تحت سطح الأرض .

### ٩/٥ الدمك

#### ١/٥/٩ مقدمة

دمك التربة هى العملية التى تتداخل بواسطتها حبيبات التربة بإحكام عن طريق تقليل حجم فراغاتها سواء باستخدام هراسات rollers أو بطرق ميكانيكية أخرى .

وترتبط الخواص الهندسية للتربة والصخور المستخدمة فى الردم ( مثل مقاومة القص – خصائص التضاغط – النفاذية – الخ ) بمقدار الدمك الذى حدث لها . ويؤدى الدمك الجيد إلى :

١- تقليل تكلفة الصيانة .

٢- تقليل مخاطر انهيارات الانزلاق .

٣- السماح للمنشآت الدائمة مثل الطرق والمبانى أن تنشأ بدون تأخير .

٤- السماح باستخدام ضغوط تحمل أعلى عند تصميم أساسات المنشآت الدائمة .

وتعتمد الزيادة فى الكثافة الجافة للتربة نتيجة الدمك أساسا على محتوى الرطوبة للتربة ومقدار الدمك . ولمقدار معين من الدمك ، يوجد محتوى رطوبة لمعظم أنواع التربة يسمى بمحتوى الرطوبة الأمثل optimum moisture content ، والذى عنده يتم الحصول على الكثافة الجافة القصوى maximum dry density للتربة . وتحدد درجة الدمك الضرورية عن طريق الخصائص الهندسية المطلوبة للردم لكى يؤدى وظيفته التصميمية. ويمكن أن تحدد درجة الدمك المطلوبة عن طريق أى من الخصائص التالية للتربة المدموكة :

١- أقل كثافة جافة .

٢- أقصي نسبة فراغات هوائية مقرونة بأقصي محتوى رطوبة .

٣- أقل نسبة من أقصي كثافة جافة يمكن الحصول عليها من اختبار دمك معملى قياسي .

٤- أقل مقاومة قص .

٥- أقل كثافة نسبية للتربة الرملية .

كما يمكن بدلا من ذلك ربط خواص التربة التى ستستخدم في أعمال الردم بعلاقة مع الجهد المبذول في الدمك للأنواع المختلفة من المعدات المتاحة ، وبالتالى يمكن التحكم في درجة الدمك عن طريق تحديد سمك الطبقات وعدد مرات مرور نوع معين من معدات الدمك .

### ٢/٥/٩ اختبار الدمك للأعمال الترابية

الاختبارات المعتاد إجراؤها لأعمال دمك التربة هى الاختبارات التى يمكن منها إيجاد الكثافة الجافة أو مقاومة القص وعلاقة الكثافة بمحتوى الرطوبة ( منحنى الدمك ) فى المعمل والموقع وهذه الاختبارات مذكورة فى الجزء الثانى من الكود الخاص بالاختبارات المعملية وفى الجزء الأول الخاص بدراسة الموقع.

### ٣/٥/٩ طرق الدمك

يتناول هذا البند كيفية الوصول إلى درجة الدمك المطلوبة بالطرق الأكثر اقتصادا . وطريقة الدمك المستخدمة تعتمد على :

١- نوع التربة ، بما فى ذلك تدرجها الحبيبى ومحتوى الرطوبة وقت الدمك .

٢- متطلبات الدمك المحددة .

٣- الكمية الكلية من التربة المطلوب دمكها ومعدل الدمك المطلوب .

٤- الشكل الهندسى للأعمال الترابية المراد دمكها .

٥- القيود البيئية ( مثل الضوضاء ) .

ومعدات أعمال دمك التربة فى تطور وتحسن مستمر ، ويحتوى الجدول (٩-٣ ) على دليل لاستخدام معدات الدمك المختلفة المناسبة لمختلف أنواع التربة .

ولاختيار طريقة الدمك التى تتبع فى موقع ما، يمكن إجراء تجارب دمك فى الموقع لتحديد أنسب معدات الدمك للظروف المتوقع أن تسود خلال فترة التنفيذ مع اعتبار الآتى:

١- محتوى الرطوبة للتربة .

٢- سمك الطبقة .

٣- عدد مشاوير معدة الدمك .

٤- التباين فى التدرج الحبيبى .

ويجب أن تؤخذ النواحى الاقتصادية فى الاعتبار . فعلى سبيل المثال قد يحتاج الأمر لدراسة أيهما أقل تكلفة : الدمك على طبقات بسمك ١٠,٠ سم باستخدام هراس خفيف أو على طبقات بسمك ٣٠,٠ سم باستخدام هراس ثقيل . وربما يتطلب الأمر المقارنة بين عدد المشاوير المطلوبة في حالة استخدام هراس ناعم الإطارات smooth – wheeled roller والعدد فى حالة استخدام هراس دكاك tamping roller للحصول على درجة الدمك المطلوبة . وقد يتم الحصول على أفضل النتائج باستخدام نوعين أو أكثر من الهراسات .

### ٤/٥/٩ خصائص دمك التربة

يمكن لهذا الغرض تصنيف التربة إلى المجموعات المذكورة في البنود ١/٤/٥/٩ إلى ٤/٤/٥/٩.

جدول ( ٩-٣ ) * دليل استخدام معدات الدمك للمواد المختلفة

| نوع المادة | التقسيمات الرئيسية | التقسيمات الفرعية | أنواع معدات الدمك المناسبة | أقل عدد مرات المرور للحصول على دمك مقبول | أقصى سمك للطبقة المدموكة ( مم ) | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مواد صخرية أو حجرية | صخور طبيعية | جميع أنواع الصخور ما عدا الطباشيرية | - هراس ثقيل هزاز لا يقل عن ١٨٠ كجم لكل ١٠٠مم هرس<br>Heavy Vibratory Roller<br>- هراس شبكي لا يقل عن ٨٠٠ كجم لكل ١٠٠مم هرس<br>Grid Roller<br>- هراس دكاك ذاتي الدفع<br>Self-Propelled Tamping Roller | ٤ إلى ١٢ | ٥٠٠ إلى ١٥٠٠ حسب معدة الدمك المستخدمة | - إذا كانت جيدة التدرج أو يسهل كسرها فإنه يمكن تصنيفها كتربة خشنة من وجهة نظر الدمك<br>- أقصى قطر لقطع الصخور يجب ألا يزيد عن ثلثي سمك الطبقة |
| | | الطباشير | انظر الملاحظات | ٣ | ٥٠٠ | - الطباشير شديد الحساسية لوزن وتشغيل معدات التوزيع والدمك ، و يحتاج إلى مجهود دمك أقل من الصخور الأخرى |
| مواد صناعية | مخلفات صناعية | كسر الخرسانة والطوب وخبث الحديد وما شابه | - هراس ثقيل هزاز<br>Heavy Vibratory Roller<br>- هراس دكاك ذاتي الدفع<br>Self-Propelled Tamping Roller<br>- هراس ناعم الإطارات<br>Smooth Wheeled Roller | ٤ إلى ١٢ حسب وزن المعدة | ٣٠٠ | - مخلفات تصنيع الطوب الكبريتية غير المعالجة يجب التعامل معها بحذر |

*المعلومات فى هذا الجدول استرشادية فقط وتطبق على المواد التى تدمك على طبقات ولا يستخدم الجدول فى حالة الدمك لطبقة سميكة بالموقع.

تابع جدول ( ٩-٣ ) * دليل استخدام معدات الدمك للمواد المختلفة

| نوع المادة | التقسيمات الرئيسية | التقسيمات الفرعية | أنواع معدات الدمك المناسبة | أقل عدد مرات المرور للحصول على دمك مقبول | أقصى سمك للطبقة المدموكة ( مم ) | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| التربة الخشنة | الزلط وخليط الزلط مع الرمل والتربة الزلطية | - الزلط وخليط من الزلط والرمل جيد التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة<br>- خليط من الزلط والرمل جيد التدرج مع وجود مواد طينية رابطة ممتازة<br>- زلط منتظم التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة | - هراس شبكي لا يقل عن ٥٤٠ كجم لكل ١٠٠مم هرس<br>Grid Raller<br>- هراس ذو إطارات هوائية لا يقل عن٢٠٠٠ كجم لكل إطار<br>Pneumatic Tyred<br>- لوح دمك هزاز لا يقل عن ١١٠٠ كجم/م٢ من مسطح اللوح<br>Vibratory Plate Compactor<br>- هراس ناعم الإطارات<br>Smooth Wheeled Roller<br>- هراس دكاك ذاتي الدفع<br>Self-Propelled Tamping Roller<br>( انظر أيضا الصفحة التالية ) | ٣ إلى ١٢ حسب نوع معدة الدمك | ٧٥ إلى ٢٧٥ حسب نوع معدة الدمك | |

*المعلومات فى هذا الجدول استرشادية فقط وتطبق على المواد التى تدمك على طبقات ولا يستخدم الجدول فى حالة الدمك لطبقة سميكة بالموقع.

## تابع جدول (٩-٣) * دليل استخدام معدات الدمك المختلفة

| نوع المادة | التقسيمات الرئيسية | التقسيمات الفرعية | أنواع معدات الدمك المناسبة | أقل عدد مرات المرور للحصول على دمك مقبول | أقصى سمك للطبقة المدموكة ( مم ) | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| التربة الخشنة ( بقية ) | الزلط وخليط الزلط مع الرمل والتربة الزلطية<br><br>( بقية ) | - زلط ردىء التدرج وخلطات الرمل والزلط رديئة التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة<br><br>- زلط مع مواد ناعمة زائدة وزلط طمبى وزلط طينى وخلطات الزلط والرمل والطين رديئة التدرج | ( انظر أيضا الصفحة السابقة )<br>- هراس هزاز Vibratory Roller<br>- دقاق اهتزازى Vibro - Rammer | ٣ إلى ١٢ حسب نوع معدة الدمك | ٧٥ إلى ٢٧٥ حسب نوع معدة الدمك | |
| | الرمال والتربة الرملية | - رمال ورمال زلطية جيدة التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة<br>- رمال جيدة التدرج مع مواد طينية رابطة | | | | |

*المعلومات فى هذا الجدول استرشادية فقط وتطبق على المواد التى تدمك على طبقات ولا يستخدم الجدول فى حالة الدمك لطبقة سميكة بالموقع.

## تابع جدول ( ٩-٣ ) * دليل استخدام معدات الدمك للمواد المختلفة

| نوع المادة | التقسيمات الرئيسية | التقسيمات الفرعية | أنواع معدات الدمك المناسبة | أقل عدد مرات المرور للحصول على دمك مقبول | أقصى سمك للطبقة المدموكة ( مم ) | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| التربة الخشنة ( بقية ) | رمال وزلط منتظم التدرج | - زلط منتظم التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة<br>- رمال منتظمة التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة<br>- رمال رديئة التدرج مع قليل من أو بدون مواد ناعمة<br>- رمال مع مواد ناعمة أو رمال طمية أو رمال طينية أو خلطات من الرمل والطين رديئة التدرج | - هراس ناعم الإطارات أقل من ٥٠٠ كجم لكل ١٠٠ مم هرس .<br>Smooth Wheeled Roller<br>- هراس شبكى أقل من ٥٤٠ كجم لكل ١٠٠ مم هرس<br>Grid Roller<br>- هراس ذو إطارت هوائية أقل من ١٥٠٠ كجم لكل إطار<br>Pneumatic Tyred Roller<br>- هراس هزاز<br>Vibratory Roller<br>- لوح دامك هزاز<br>Vibratory plate Compactor<br>- دكاك اهتزازى<br>Vibro-Tamper | ٣ إلى ١٦ حسب نوع المعدة | ٧٥ إلى ٣٠٠ حسب نوع المعدة | |

* المعلومات فى هذا الجدول استرشادية فقط وتطبق على المواد التى تدمك على طبقات ولا يستخدم الجدول فى حالة الدمك لطبقة سميكة بالموقع.

تابع جدول ( ٩-٣ ) *دليل استخدام معدات الدمك للمواد المختلفة

| نوع المادة | التقسيمات الرئيسية | التقسيمات الفرعية | أنواع معدات الدمك المناسبة | أقل عدد مرات المرور للحصول على دمك مقبول | أقصى سمك للطبقة المدموكة ( مم ) | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تربة ناعمة | تربة ذات لدونة منخفضة | - طمى (غير عضوى) ورمال ناعمة جداً<br>- رمال ناعمة طمية أو طينية ذات لدونة بسيطة<br>- طمى طينى (غير عضوى)<br>- طمى عضوى منخفض اللدونة | - هراس حوافر الغنم Sheepsfoot Roller<br>- هراس ناعم الإطارات Smooth Wheeled Roller<br>- هراس ذو إطارات هوائية Pneumatic Tyred Roller<br>- هراس هزاز أكثر من ٧٠ كجم لكل ١٠٠ مم هرس Vibratory Roller<br>- لوح دامك هزاز أكثر من ١٤٠٠ كجم/م٢ من مسطح اللوح Vibratory Plate Compactor<br>- دكاك اهتزازى Vibro-Tamper | ٤ إلى ٨ حسب نوع المعدة | ١٠٠ إلى ٤٥٠ حسب نوع المعدة | - إذا كان محتوى الرطوبة منخفضاً فقد يكون من الأفضل استعمال هراس هزاز Vibratory Roller<br>- هراسات حوافر الغنم Sheepsfoot Rollers أكثر ملائمة للتربة التى يكون محتوى الرطوبة بها أقل من حد اللدونة. |
| | تربة ذات لدونة متوسطة | - طين طمى وطين رملى (غير عضوى ) متوسط اللدونة | | | | |

*المعلومات فى هذا الجدول استرشادية فقط وتطبق على المواد التى تدمك على طبقات ولا يستخدم الجدول فى حالة الدمك لطبقة سميكة بالموقع.

## تابع جدول ( ٩-٣ ) *دليل استخدام معدات الدمك للمواد المختلفة

| نوع المادة | التقسيمات الرئيسية | التقسيمات الفرعية | أنواع معدات الدمك المناسبة | أقل عدد مرات المرور للحصول على دمك مقبول | أقصى سمك للطبقة المدموكة ( مم ) | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تربة ناعمة ( بقية ) | تربة ذات لدونة متوسطة ( بقية ) | – طين (غير عضوى ) متوسط اللدونة | ( انظر الصفحة السابقة ) | ٤ إلى ٨ حسب نوع المعدة | ١٠٠ إلى ٤٥٠ حسب نوع المعدة | ( انظر الصفحة السابقة ) |
| | | طين عضوى متوسط اللدونة | | | | – بصفة عامة غير صالح للأعمال الترابية |
| | تربة ذات لدونة عالية | – تربة رملية ناعمة أو طمية ذات أصل من الميكا أو تربة طمية لدنة<br>– طين ( غير عضوى ) عالى اللدونة | | | | – يجب استعماله فقط عندما تكون الظروف مواتية |
| | | – طين عضوى عالى اللدونة | | | | – يجب عدم استعماله في الأعمال الترابية |

*المعلومات فى هذا الجدول استرشادية فقط وتطبق على المواد التى تدمك على طبقات ولا يستخدم الجدول فى حالة الدمك لطبقة سميكة بالموقع.

### ١/٤/٥/٩ ردم الصخور

يجب أن يدمك ردم الصخور على طبقات سميكة ، وبقطر أقصى لقطع الصخر لا يزيد عن ثلثى سمك الطبقة . وعادة يفرش ناتج أعمال الحفر في الصخر السليم باستخدام الجرارات الزاحفة الثقيلة heavy crawler tractors وذلك على طبقات يصل سمكها إلى ١,٥ متر. وتساعد هذه العملية على خلط المواد إذا كان قد حدث لها انفصال حبيبى أثناء عملية النقل ، كما تعطى سطحا مستويا نسبيا تستطيع الهراسات أن تتحرك عليه. ويعطى الدمك بالاهتزاز أفضل النتائج عند دمك ردم الصخور . وعادة يدمك الهراس الهزاز الثقيل heavy vibrating roller ذو الحمل الاستاتيكى من ١٠ طن إلى ١٥ طن طبقات ردم الصخور بكفاءة حتى سمك يصل إلى ١,٥ متر.

ويفضل وضع ردم الصخور الناتج عن أعمال حفر فى صخور قوية أو متوسطة القوة مع محتوى رطوبة أعلى ما يمكن وذلك لتجنب الهبوط الناتج عن الانهيارات التى قد تصاحب عملية التشبع المستقبلى بالماء . ولذلك يمكن رش أو غمر ردم الصخور بالماء وذلك بعد وضعه فى مكانه وقبل دمكه. وردم الصخور الذى يتم الحصول عليه من صخور ضعيفة قد يتفتت بسرعة أثناء الدمك ، وقد تنشأ عن هذا التفتت مشاكل إذا كان محتوى الرطوبة لردم الصخور عالياً بدرجة تؤدى إلى تكون ضغط زائد لمياه المسام ينتج عنه عدم اتزان موضعى أثناء الدمك . ولهذا فإنه من الضرورى التأكد من أن طريقة الدمك المتبعة لا تؤدى إلى حدوث هذه الظاهرة . وبصفة عامة يجب ألا يزيد سمك الطبقات فى حالة استخدام ردم الصخور الناتج من صخور ضعيفة عن ٥٠,٠ سم .

### ٢/٤/٥/٩ التربة الحبيبية

تعرف التربة الحبيبية عادة بأنها تلك التى ليس بها تماسك أو أنها التربة الخشنة التى لها نفاذية عالية والتى بها نسبة قليلة من المواد الناعمة ( مثلا أقل من ١٠% ) . ونسبة المواد الناعمة التى يمكن قبولها تتوقف على ما إذا كانت تلك المواد من النوعية المتماسكة أو غير المتماسكة . وتتميز هذه التربة بأنه تحت تأثير الضغط من معدة الدمك يمكن طرد الماء من فراغات التربة والوصول إلى درجة عالية من الدمك حتى لو كانت التربة أصلا ذات محتوى رطوبة مرتفع .

وللتربة الحبيبية المدموكة قدرة تحمل عالية، ولذلك فهى مفضلة في أعمال الردم، ومع ذلك إذا احتوت التربة الحبيبية على نسبة عالية من المواد الناعمة وكان محتوى الرطوبة عاليا ، فقد يتولد ضغط عال في مياه المسام أثناء الدمك مما يؤدى إلى عدم الثبات . والتربة الحبيبية منتظمة التدرج يصعب الوصول بها إلى درجة عالية من الدمك قرب السطح خاصة عند استخدام الهراسات الهزازة . وهذه المشكلة عادة ما تختفى بعد وضع ودمك الطبقة التالية حيث أن السطح العلوى المفكك للطبقة السفلى يدمك أيضا بدرجة مقبولة عند دمك الطبقة التالية .

ومن الممكن تحسين دمك التربة الحبيبية منتظمة التدرج باستخدام محتوى رطوبة عال بقدر الإمكان بواسطة عمليات الرش المكثفة بالمياه باستخدام هراسات ناعمة الإطارات غير هزازة في المشاوير الأخيرة أثناء الدمك على أن تتحرك بسرعات أعلى .

### ٣/٤/٥/٩ التربة الناعمة

### ٣/٤/٥/٩/أ الطمى

تتأثر خصائص مقاومة القص وخصائص الدمك للتربة الطمية تأثرا ملحوظا بمحتوى الرطوبة، خاصة أن زيادة محتوى الرطوبة بمقدار بسيط ( في حدود ١-٢% ) مصحوبة بالقلقلة الناتجة عن فرش التربة والدمك يمكن أن يؤدى إلى نقص واضح جدا في مقاومة القص مما يجعل حبيبات التربة غير قابلة للتقارب ويستحيل أو يصعب دمكها.

### ٣/٤/٥/٩/ب الطين

تعتمد خصائص الدمك للطين بدرجة كبيرة على محتوى الرطوبة حيث أن المجهود المبذول فى الدمك يزداد بنقصها . وقد يكون ضروريا وضع التربة فى طبقات أقل سمكا ودمكها بعدد مشاوير أكبر بواسطة هراسات أثقل وزنا عن المطلوب فى حالة التربة الحبيبية . ويشكل دمك التربة عند الحد الأعلى من محتوى الرطوبة المقبولة للدمك خطورة على الثبات نتيجة تولد ضغط زائد فى مياه المسام بسبب الدمك . وعند حفر التربة الطينية الطبيعية المتماسكة واستخراجها بأحجام كبيرة يجب تكسيرها بالدك أو الهرس بعد فرشها وذلك للوصول إلى أحجام مناسبة للحصول على الكثافة المطلوبة بعد الدمك .

### ٩/٤/٥/٤ ردم غير تقليدى – النفايات أو الفضلات

مثل هذه المواد تكون بطبيعة تكوينها متباينة جدا ومن الضرورى إجراء تجارب عليها فى الموقع لتحديد مواصفات الدمك لها .

### ٩/٥/٥ التحكم فى الدمك فى الموقع

يجب مراقبة العمليات الآتية التى تؤثر فى درجة الدمك :

١- تنفيذ سمك الطبقة المحدد لكل نوع من أنواع التربة المستخدمة فى عمليات الدمك .

٢- انفصال الحبيبات بالمواد المستخدمة في الردم عند اختلاف درجة الدمك المطلوبة لكل منها .

٣- مسار معدات نقل التربة لتجنب الدمك غير المنتظم لأى منطقة من الردم فى الموقع .

٤- العدد المحدد لمرات مرور معدة الدمك لكل طبقة من طبقات الردم .

٥- وضع الردم بالطريقة الصحيحة التى تمكن من تحقيق الدمك الكامل لحرف الجسر .

٦- التشغيل الصحيح لمعدات الدمك وخاصة الهزازة منها .

٧- الحفاظ على سطح حر الصرف أثناء عملية الدمك .

وبالإضافة إلى ذلك يجب التحقق دوريا من محتوى الرطوبة والكثافة و/ أو مقاومة القص للأعمال الترابية المدموكة .

ويحتوى الجدول (٩-٤) على إرشادات عامة لمتطلبات الدمك، ويمكن تعديل تلك المتطلبات طبقاً لظروف كل مشروع.

### ٩/٥/٦ الدمك المتاخم للمنشآت

#### ٩/٥/٦/١ البرابخ

يجب وضع ودمك التربة بانتظام على جانبى البربخ culvert لتجنب حدوث تحميل جانبى غير متساوى للبربخ . أما الردم الذى يوضع فوق البربخ فيجب أن يراقب بدقة لتجنب حدوث تحميل مركز غير مقبول ناتج عن حركة المعدات أعلا موقع البربخ ، كما يجب تجنب استخدام

### ٩/٤/٥/٤ ردم غير تقليدى – النفايات أو الفضلات

مثل هذه المواد تكون بطبيعة تكوينها متباينة جدا ومن الضرورى إجراء تجارب عليها فى الموقع لتحديد مواصفات الدمك لها .

### ٩/٥/٥ التحكم فى الدمك فى الموقع

يجب مراقبة العمليات الآتية التى تؤثر فى درجة الدمك :

١- تنفيذ سمك الطبقة المحدد لكل نوع من أنواع التربة المستخدمة فى عمليات الدمك .

٢- انفصال الحبيبات بالمواد المستخدمة في الردم عند اختلاف درجة الدمك المطلوبة لكل منها .

٣- مسار معدات نقل التربة لتجنب الدمك غير المنتظم لأى منطقة من الردم فى الموقع .

٤- العدد المحدد لمرات مرور معدة الدمك لكل طبقة من طبقات الردم .

٥- وضع الردم بالطريقة الصحيحة التى تمكن من تحقيق الدمك الكامل لحرف الجسر .

٦- التشغيل الصحيح لمعدات الدمك وخاصة الهزازة منها .

٧- الحفاظ على سطح حر الصرف أثناء عملية الدمك .

وبالإضافة إلى ذلك يجب التحقق دوريا من محتوى الرطوبة والكثافة و/ أو مقاومة القص للأعمال الترابية المدموكة .

ويحتوى الجدول (٩-٤) على إرشادات عامة لمتطلبات الدمك، ويمكن تعديل تلك المتطلبات طبقاً لظروف كل مشروع.

### ٩/٥/٦ الدمك المتاخم للمنشآت

#### ٩/٥/٦/١ البرابخ

يجب وضع ودمك التربة بانتظام على جانبى البربخ culvert لتجنب حدوث تحميل جانبى غير متساوى للبربخ . أما الردم الذى يوضع فوق البربخ فيجب أن يراقب بدقة لتجنب حدوث تحميل مركز غير مقبول ناتج عن حركة المعدات أعلا موقع البربخ ، كما يجب تجنب استخدام

## جدول ٩-٤ إرشادات عامة لمتطلبات الدمك

| الغرض من استخدام الردم | الكثافة المطلوبة كنسبة من أقصى كثافة جافة معينة من اختبار الدمك ( بروكتور ) المعدل | مدى السماح لمحتوى الرطوبة حول المحتوى الأمثل ، % | أقصى سمك مسموح به للطبقة الواحدة بعد دمكها ، سم | متطلبات خاصة |
|---|---|---|---|---|
| ارتكاز منشأ | ٩٥ | -٢ إلى + ٢ | ٣٠ | يجب أن يكون الردم متجانسا . |
| تبطين قناة أو خزان صغير | ٩٠ | -٢ إلى + ٢ | ١٥ | فى حالة التبطين السميك يوصى باستخدام التربة من نوع SC, GC, GW – GC للمحافظة على الثبات ولمقاومة النحر. ويعتبر الرمل الطمى أحادى المقاس والذى له دليل لدونة أقل من ٥ غير مقبول. ويجب إزالة أى قطع تزيد أبعادها عن ١٠ سم قبل الدمك. |
| سد ترابى بارتفاع يزيد عن ١٥ متر | ٩٥ | -١ إلى + ٢ | ٣٠ ( + ) | تستخدم المواد الأقل نفاذية كلب مركزى على أن يكون اللب خاليا من أى عدسات أو جيوب أو طبقات من مواد منفذة. ويجب أن تترابط الطبقات المتتالية من اللب ترابطاً جيداً مع بعضها البعض. |

## تابع جدول ٩-٤ إرشادات عامة لمتطلبات الدمك

| الغرض من استخدام الردم | الكثافة المطلوبة كنسبة من أقصى كثافة جافة معينة من اختبار الدمك ( بروكتور ) المعدل | مدى السماح لمحتوى الرطوبة حول المحتوى الأمثل ، % | أقصى سمك مسموح به للطبقة الواحدة بعد دمكها ، سم | متطلبات خاصة |
|---|---|---|---|---|
| سد ترابي بارتفاع يقل عن ١٥ متر | ٩٣ | -١ إلى +٣ | ٣٠ ( + ) | في حالة السدود الصغيرة يجب دمك المواد المعرضة للتشقق والنحر الداخلي piping حتى ٩٨% عند محتوى رطوبة يتراوح بين المحتوى الأمثل و ٣% أعلى من المحتوى الأمثل. |
| ارتكاز الرصف | تتبع متطلبات الرصف سواء للطرق أو للمطارات | -٢ إلى + ٢ | ٢٠ ( + ) | توضع المواد الأكثر خشونة في أعلى الردم . |
| الردم حول المنشأ | ٩٠ | -٢ إلى + ٢ | ٢٠ ( + ) | تستخدم التربة الحبيبية النافذة حيث يلزم الصرف خلال الردم. ولا يجب السماح باستخدام معدات الردم الثقيلة بالقرب من حوائط المنشأ إلا على المسافات التي تضمن سلامة هذه الحوائط. |

## تابع جدول ٩-٤ إرشادات عامة لمتطلبات الدمك

| الغرض من استخدام الردم | الكثافة المطلوبة كنسبة من أقصى كثافة جافة معينة من اختبار الدمك ( بروكتور ) المعدل | مدى السماح لمحتوى الرطوبة حول المحتوى الأمثل ، % | أقصى سمك مسموح به للطبقة الواحدة بعد دمكها ، سم | متطلبات خاصة |
|---|---|---|---|---|
| الـردم حول ماسورة أو فى خندق مرافق | ٩٠ | -٢ إلى + ٢ | ٢٠ ( + ) | يستخدم ناتج الحفر فى الردم إذا كان لا يحتوى على مواد عضوية أو مواد غير مقبولة. وفى حالة الـردم دقيق الحبيبات، يتم تشكيل التربة الطبيعية لاستقبال الماسورة ثم توضع تربة ردم يتم دمكها لتكوين فرشة مناسبة أسفل الماسورة. وفى حالة استخدام رمل وزلط حر الصرف Free draining. يمكن تكوين قاع الحفر بحيث يكون مستويا ثم توضع التربة الحبيبية مشبعة أسفل وحول الماسورة مع دمكها بالاهتزاز. |
| حصيرة صرف (Drainage blanket) أو مرشح | ٩٠ | مثل تماما | ٢٠ | تستخدم معدات الدمك المهزازة مع خلط المواد المستخدمة لضمان تجانسها ومنع انفصال حبيباتها. ويتم الدمك بجوار أو أعلا ماسورة الصرف باستخدام المهزازات اليدوية أو الخفيفة. |

## تابع جدول ٩-٤ إرشادات عامة لمتطلبات الدمك

| الغرض من استخدام الردم | الكثافة المطلوبة كنسبة من أقصى كثافة جافة معينة من اختبار للدمك ( بروكتور ) المعدل | مدى السماح لمحتوى الرطوبة حول المحتوى الأمثل ، % | أقصى سمك مسموح به للطبقة الواحدة بعد دمكها ، سم | متطلبات خاصة |
|---|---|---|---|---|
| تربة التأسيس ( Subgrace ) فى حالة الحفر لمنشأ | ٩٥ | -٢ إلى + ٢ | - | لتجانس تربة التأسيس يتم حرث الجزء العلوى منها بسمك ٢٠ سم إلى ٣٠ سم ثم تجفف أو تبلل لإعادة دمكها عند محتوى الرطوبة المذكورة. وفى حالة بعض المواد ، مثل الطين زائد التضاغط جدا الذى لا يتأثر بالدمك أو الطمى المشبع والرمل الناعم الطميى الذى يفور أثناء الدمك ، يجب استخدام فرشة من التربة الخشنة أو من الخرسانة العادية لمنع القلقلة أو التلين. كما يمكن أن تتطلب خصائص التربة إحلال أو إزالة سمك معين من تربة التأسيس المفككة وإعادة دمكها. |
| الردم بالصخور | | مبلل تماما | ٥٠ إلى ١٥٠ سم | فى حالة ردم يحتوى على مقاس لقطع الصخر لا يتعدى ٣٠ سم، يجب وضعه على طبقات لا يزيد سمكها عن ٦٠ سم تبلل تماما وتدمك بواسطة جرارات زاحفة ثقيلة . وفى حالة مقاس لقطع الصخـــر يصل إلى ٩٠ سم ، يمـــكن وضع الردم (انظر الصفحة التالية ) |

## تابع جدول ٩-٤ إرشادات عامة لمتطلبات الدمك

| الغرض من استخدام الردم | الكثافة المطلوبة كنسبة من أقصى كثافة جافة معينة من اختبار الدمك ( بروكتور ) المعدل | مدى السماح لمحتوى الرطوبة حول المحتوى الأمثل ، % | أقصى سمك مسموح به للطبقة الواحدة بعد دمكها ، سم | متطلبات خاصة |
|---|---|---|---|---|
| الردم بالصخور ( بقية ) | | | | ( انظر الصفحة السابقة) يمكن وضع الردم على طبقات بسمك ١,٠ متر بحيث يزداد المقاس الأقصى لقطع الصخر نحو الجوانب الخارجية، على أن تكون القطع التى يزيد حجمها عن ١,٠ متر مكعب مثبتة على الجوانب. |

تربة ردم تحتوى على مواد قد تضر المنشأ . ويجب أن تتماشى طريقة ووسائل الدمك مع تصميم وخطوات إنشاء البرابخ ، فبعض أنواع البرابخ مثل تلك المكونة من ألواح معدنية مموجة قد تتطلب استخدام تربة ردم منتقاة حول المنشأ .

### ٢/٦/٥/٩ الأكتاف والحوائط الساندة

يعتبر الهبوط المتفاوت للردم خلف الأكتاف abutments أو الحوائط الساندة من أكثر مشاكل الصيانة شيوعا فى الجسور . ولذلك يجب الردم خلف الحوائط الساندة والأكتاف بتربة يمكن أن تدمك لدرجة لا تسمح بحدوث هبوط متفاوت مؤثر وهذا يستتبع أحيانا استبعاد التربة المتماسكة وبعض أنواع الصخور الضعيفة المستخرجة من الموقع كالطباشير. وفى هذه الأحوال يجب أن تستخدم تربة حبيبية منتقاة موردة من خارج الموقع.

وعندما يكون الجسر المجاور للمنشأ قد تم تنفيذه بالفعل مع ترك فراغ بينهما للسماح بتنفيذ المنشأ، فإنه يجب قبل ردم الفراغ بين الجسر والمنشأ تكوين درجات بميل الجسر المواجه للمنشأ بما يسمح بوضع الردم في ذلك الفراغ على طبقات أفقية مع دمكها بالكامل بدون تكوين سطح انفصال بين الجسر المنفذ سابقا والردم الجديد. وحيث أن منطقة الردم بين الجسر والمنشأ تكون فى العادة محدودة الاتساع وغير منتظمة الشكل فيجب استخدام معدات الدمك اليدوى الصغيرة . ومن المهم فى هذه الحالة ألا يكون سمك طبقات الردم كبيرا بالنسبة لقدرة المعدات المستخدمة فى الدمك.

### ٣/٦/٥/٩ العوائق

قد تكون بعض العوائق دائمة مثل غرف التفتيش ودعامات الكبارى والأعمدة أو تكون مؤقتة مثل الأبراج أو الصوارى المستخدمة في حمل الكابلات أو معدات رصد الهبوط . وللوصول إلى الدمك المطلوب حول العائق فإنه يجب عادة استخدام معدات دمك إضافية مناسبة تستطيع دمك التربة بكفاءة دون الإضرار بالعائق نفسه.

## ٦/٩ تشغيل المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية

### ١/٦/٩ تصنيف المعدات

صممت المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية للقيام بواحدة أو أكثر من العمليات الآتية :-

تربة ردم تحتوى على مواد قد تضر المنشأ . ويجب أن تتماشى طريقة ووسائل الدمك مع تصميم وخطوات إنشاء البرابخ ، فبعض أنواع البرابخ مثل تلك المكونة من ألواح معدنية مموجة قد تتطلب استخدام تربة ردم منتقاة حول المنشأ .

### ٢/٦/٥/٩ الأكتاف والحوائط الساندة

يعتبر الهبوط المتفاوت للردم خلف الأكتاف abutments أو الحوائط الساندة من أكثر مشاكل الصيانة شيوعا فى الجسور . ولذلك يجب الردم خلف الحوائط الساندة والأكتاف بتربة يمكن أن تدمك لدرجة لا تسمح بحدوث هبوط متفاوت مؤثر وهذا يستتبع أحيانا استبعاد التربة المتماسكة وبعض أنواع الصخور الضعيفة المستخرجة من الموقع كالطباشير. وفى هذه الأحوال يجب أن تستخدم تربة حبيبية منتقاة موردة من خارج الموقع.

وعندما يكون الجسر المجاور للمنشأ قد تم تنفيذه بالفعل مع ترك فراغ بينهما للسماح بتنفيذ المنشأ، فإنه يجب قبل ردم الفراغ بين الجسر والمنشأ تكوين درجات بميل الجسر المواجه للمنشأ بما يسمح بوضع الردم في ذلك الفراغ على طبقات أفقية مع دمكها بالكامل بدون تكوين سطح انفصال بين الجسر المنفذ سابقا والردم الجديد. وحيث أن منطقة الردم بين الجسر والمنشأ تكون فى العادة محدودة الاتساع وغير منتظمة الشكل فيجب استخدام معدات الدمك اليدوى الصغيرة . ومن المهم فى هذه الحالة ألا يكون سمك طبقات الردم كبيرا بالنسبة لقدرة المعدات المستخدمة فى الدمك.

### ٣/٦/٥/٩ العوائق

قد تكون بعض العوائق دائمة مثل غرف التفتيش ودعامات الكبارى والأعمدة أو تكون مؤقتة مثل الأبراج أو الصوارى المستخدمة في حمل الكابلات أو معدات رصد الهبوط . وللوصول إلى الدمك المطلوب حول العائق فإنه يجب عادة استخدام معدات دمك إضافية مناسبة تستطيع دمك التربة بكفاءة دون الإضرار بالعائق نفسه.

## ٦/٩ تشغيل المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية

### ١/٦/٩ تصنيف المعدات

صممت المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية للقيام بواحدة أو أكثر من العمليات الآتية :-

١- تفتيت التربة أو الصخر ليسهل الحفر .
٢- إستخراج التربة من الحفر ونقلها مباشرة إلى مواقع الردم أو تحميلها على معدات النقل .
٣- تسوية الأتربة بمواقع العمليات لتجهيز الموقع لإنشاء الأعمال أو إقامة المعدات .
٤- دمك التربة .
٥- إستخراج ونقل التربة اللازمة لأعمال الإحلال .
٦- تشكيل وتمهيد ودمك الجسور وصيانتها .
٧- إنشاء الجسور للسيطرة على المياه السطحية لحماية مواقع الإنشاء .

ومعدات الإنشاء المستخدمة فى هذه الأعمال غالية الثمن وتكلفة تشغيلها مرتفعة ، لذا يجب إستخدامها الإستخدام الأمثل مع حسن تدريب عمال التشغيل والصيانة .

**٢/٦/٩ العوامل التى تؤثر على إختيار المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية**

لإتخاذ القرار السليم فى إختيار المعدات فى هذا المجال فإنه يجب النظر فى الإعتبارات المؤثرة على النحو التالى:-

١- حجم الأتربة المطلوب نقلها أو إزاحتها ونوعها وطبيعتها .
٢- أماكن التشوين سواء بالنقل أو الإزاحة .
٣- المسافة بين موقع الحفر وموقع التشوين وحالة الطرق خلال هذه المسافة .
٤- منسوب المياه الأرضية ومدى وجوب تخفيضه .
٥- الأوقات المسموح أثنائها تشغيل المعدات .
٦- إمكانية تنفيذ الحفر بإستخدام معدات ثابتة أو متحركة فى الموقع .
٧-قدرة تحمل الأرض ground bearing للمعدات لتحديد نوع وزن المعد المناسب للسير على هذه التربة بإستعمال الإطارات المطاطية أو الجنزير.
٨- تصميم مسارات المعدات للدخول أو الخروج من الموقع ومدى الحاجة إلى إنشاء مسارات بإنحدار مناسب وطرق سند الجوانب إذا لزم الأمر .

٣/٦/٩ التجهيز للحفر

يجب تقدير مدى العمل المطلوب وإقرار تفاصيل حدود الموقع الخارجية ومن ثم تحديد المنطقة المطلوب حفرها وحدودها الخارجية . ويجب وضع أوتاد خارج حدود المنطقة التى سيتم حفرها أو التى ستتأثر بأعمال الحفر كمرجع ثابت لمعرفة مكان العمل وبصورة يمكن معها للقائمين بأعمال الحفر والمشرفين عليهم الرجوع إليها لمعرفة المناسيب التى تم الحفر إليها والقطاع المراد حفره . ويجب أن يوضع فى الحسبان أى متطلبات خاصة متعلقة بأعمال الحفر مثل وجوب الحفر مبدئيا لمنسوب أعلى من منسوب الحفر النهائى وذلك لحماية الطبقات السفلية أو مثل وجوب الإعتناء بتهذيب الحفر لتجنب الحفر الزائد .

ويجب التنويه إلى أن تعبير " معدات الحفر " لا يتضمن معدات تكسير الصخور . فالحفر فى الصخور يحتاج إلى معدات خاصة بالتثقيب أو التفجير أو كما فى حالة الصخور الضعيفة بإستخدام معدات ميكانيكية خاصة مجهزة لتفتيت الصخور إلى أحجام يمكن التعامل معها بمعدات الحفر العادية .

وبأخذ العوامل المذكورة فى البند السابق (٢/٦/٩) فى الإعتبار يتم إختيار المعدات الملائمة للحفر والنقل والتشوين بحيث تتمشى إمكانيات معدات الحفر والنقل مع تلك الخاصة بالتشوين . وبذلك يمكن أن نصل إلى توازن إقتصادى بين عدد معدات الحفر وعدد معدات النقل والدمك . ولكى تستمر المعدة التى تم إختيارها فى العمل بأقل فترات توقف ممكنة يجب تجنب مسببات هذا التوقف مثل تواجد عوائق فى الأرض على منسوب أعلى من منسوب الحفر أو تجمعات للمياه ، وتشمل العوائق جذوع الأشجار وأساسات المبانى والمنشآت التى أزيلت والأحجار الضخمة . ويجب إزالة هذه العوائق قبل بدء الحفر الفعلى حتى تعمل المعدة بدون عقبات . ومن المعتاد قطع الأشجار حتى إرتفاع متر واحد فوق سطح الأرض ثم إزالتها بمعدات ميكانيكية مصممة لهذا الغرض أو بواسطة بلدوزر مجهز لسحب الجذور . ويتم تكسير الأساسات والأحجار الضخمة إلى أجزاء صغيرة يسهل إزالتها وهذا التكسير يتم بإستخدام كسارات تعمل بالهواء المضغوط أو بالتفجير أو بإستعمال معدات وأجهزة مساعدة لأجهزة الحفر الأساسية ، وفى حالة تكسير منشآت من الخرسانة المسلحة فقد يتطلب الأمر إستخدام معدات خاصة لقطع حديد التسليح . وعند تكسير منشأ من الخرسانة سابقة الإجهاد فيجب اللجوء لمتخصصين على دراية بتصميم مثل هذه المنشآت حيث أن كسرها قد يصاحبه تولد قدر كبير من الطاقة .

### ٤/٦/٩ معدات حفر ونقل الأتربة

تتنوع معدات حفر ونقل الأتربة سواء فى طريقة تشغيلها أو حجمها أو مقدرتها الميكانيكية ، لذا يجب دراسة الظروف المحيطة المؤثرة فى الأعمال حتى يمكن إختيار المعدات المناسبة وفقا للآتى:-

١- معدات الإزاحة والتحميل والتشوين وهى البلدوزر واللودر والجريدر .

٢- معدات الحفر وهى الحفارات السلكية أو الهيدروليكية أو البرمائية .

٣- معدات النقل وهى اللوارى والقصابيات المقطورة أو ذاتية الحركة سواء لنقل الأتربة أو الصخور أو المياه . وتعتبر السكة الحديد (الديكوفيل) من الوسائل المستخدمة لنقل ناتج الحفر من الأنفاق أو إلى المصاعد لرفعها للخارج .

٤- معدات التثقيب الميكانيكية الدقاقة أو الدوارة .

٥- السيور المتحركة .

٦- معدات الدمك والهراسات بمختلف أنواعها .

٧- وفى حالة الأنفاق يمكن أن يتم الحفر بالماء تحت ضغط الهواء ونقل ناتج خليط التربة والماء بطلمبات خاصة خلال مواسير إلى موقع التشوين أو معدات النقل أو إنشاء السدود كما تستخدم السيور المتحركة لنقل خامات المناجم لأماكن التصنيع .

ويراعى أن تكون معدات نقل الأتربة مناسبة ومتوافقة مع معدات الحفر أو تستخدم المعدة فى الغرضين معا .

وتستخدم معدات التسوية فى صيانة الطرق بإزالة المواد المفككة التى تتجمع على سطح الطرق أو تقوية الطرق بإضافة أتربة أو كسر محجر ذات قوة تحمل أكبر خاصة فى المناطق الرملية ، كما تستخدم للسيارات المجهزة بمعدات رش المياه لأعمال الدمك والصيانة للطرق .

### ٥/٦/٩ معدات الدمك

يعتمد مدى الدمك على خواص التربة والطاقة المستخدمة فى الدمك . ومعدات نقل الأتربة المستخدمة فى نقل ناتج الحفر إلى مواقع التشوين لها القدرة على دمك الردم إذا أمكنها إختراق هذا الردم بسهولة والمرور عليه بإنتظام . وعند تشوين المواد الجديدة يجب تجنب المساحات الضيقة والميول الحادة والعوائق حتى يمكن الإحتفاظ بطرق وصول الهراسات المستخدمة فى

الدمك . وفى حالة الجو الممطر يجب أخذ الإحتياطات لصرف المياه بحيث لاتتجمع بداخل تربة الردم أو فوقها .

### ٦/٦/٩ إحتياطات الأمن

يجب أخذ إحتياطات التأمين الخاصة ضد الحوادث فى الإعتبار لكل من الأشخاص العاملين بالموقع والجمهور خصوصا الأطفال فى جميع مراحل التصميم والتخطيط وتنفيذ الأعمال الترابية نظرا لأن جميع المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية كبيرة وقد يكون سائق المعدة غير قادر على رؤية الأشخاص والعوائق القريبة من المعدة بالإضافة إلى أن الضوضاء التى تحدثها المعدة قد تمنعه من سماع صيحات التحذير . وفى حالة وقوف المعدة بدون تشغيل يجب أن تترك دائما فى وضع آمن (مثلا الحفار يترك الكباش على الأرض) .

ويجب أن تصمم الأعمال الترابية بحيث يتم التنفيذ بشكل آمن فى جميع مراحل الإنشاء ولا تشكل أى خطورة على العاملين أو الجمهور . ويجب دائما إحاطة منطقة الحفر بحاجز أمان لمنع حدوث أى مخاطر . كما يجب أن تكون جميع الكبارى والتقاطعات كافية للسماح لمرور المعدات أو توضع تحذيرات وإحتياطات لتجنب تحميل الكبارى والتقاطعات أكثر من قدرتها .

ويجب التحقق بدقة من مواقع المرافق العامة كأنابيب الغاز ومواسير مياه الشرب والصرف الصحى والكهرباء.

ويجب عمل الإحتياطات اللازمة لحماية سيارات النقل من الحوادث أثناء تفريغ حمولتها على حافة الحفر ، كما لا يسمح للمعدة بتحميلها أكثر من طاقتها وألا تكون الحمولة مائلة حتى لاتتعرض المعدة للتوقف أو الإنقلاب . ويراعى أن تكون إطارات المعدات صالحة للتشغيل قبل سيرها على الطرق الرئيسية .

## ٧/٩ صيانة وحماية الميول

### ١/٧/٩ مقدمة

يختص هذا الجزء بالعوامل المتسببة فى سوء حالة الميول وبعدها عن أصول التصميم والطرق التى يمكن استخدامها لصيانتها وحمايتها.

الدمك . وفى حالة الجو الممطر يجب أخذ الإحتياطات لصرف المياه بحيث لاتتجمع بداخل تربة الردم أو فوقها .

### ٦/٦/٩ إحتياطات الأمن

يجب أخذ إحتياطات التأمين الخاصة ضد الحوادث فى الإعتبار لكل من الأشخاص العاملين بالموقع والجمهور خصوصا الأطفال فى جميع مراحل التصميم والتخطيط وتنفيذ الأعمال الترابية نظرا لأن جميع المعدات المستخدمة فى الأعمال الترابية كبيرة وقد يكون سائق المعدة غير قادر على رؤية الأشخاص والعوائق القريبة من المعدة بالإضافة إلى أن الضوضاء التى تحدثها المعدة قد تمنعه من سماع صيحات التحذير . وفى حالة وقوف المعدة بدون تشغيل يجب أن تترك دائما فى وضع آمن (مثلا الحفار يترك الكباش على الأرض) .

ويجب أن تصمم الأعمال الترابية بحيث يتم التنفيذ بشكل آمن فى جميع مراحل الإنشاء ولا تشكل أى خطورة على العاملين أو الجمهور . ويجب دائما إحاطة منطقة الحفر بحاجز أمان لمنع حدوث أى مخاطر . كما يجب أن تكون جميع الكبارى والتقاطعات كافية للسماح لمرور المعدات أو توضع تحذيرات وإحتياطات لتجنب تحميل الكبارى والتقاطعات أكثر من قدرتها .

ويجب التحقق بدقة من مواقع المرافق العامة كأنابيب الغاز ومواسير مياه الشرب والصرف الصحى والكهرباء.

ويجب عمل الإحتياطات اللازمة لحماية سيارات النقل من الحوادث أثناء تفريغ حمولتها على حافة الحفر ، كما لا يسمح للمعدة بتحميلها أكثر من طاقتها وألا تكون الحمولة مائلة حتى لاتتعرض المعدة للتوقف أو الإنقلاب . ويراعى أن تكون إطارات المعدات صالحة للتشغيل قبل سيرها على الطرق الرئيسية .

## ٧/٩ صيانة وحماية الميول

### ١/٧/٩ مقدمة

يختص هذا الجزء بالعوامل المتسببة فى سوء حالة الميول وبعدها عن أصول التصميم والطرق التى يمكن استخدامها لصيانتها وحمايتها.

### ٢/٧/٩ صيانة الميول

#### ١/٢/٧/٩ العوامل المؤدية لعدم الثبات بعد الإنشاء

العوامل التى تؤدى الى الأشكال المختلفة من عدم ثبات ميول القطوع فى المدى القريب أو البعيد وردت فى موضوع القطوع (بند ٢/٩).

#### ٢/٢/٧/٩ الفحص المنتظم

يعد الفحص المنتظم للميول أساسا جوهريا لإعداد برنامج زمنى لأعمال الصيانة والعوامل التى يجب أخذها فى الاعتبار أثناء الفحص الدورى، وورد هذا البند أيضا فى موضوع القطوع (بند ٢/٩).

#### ٣/٢/٧/٩ مراجعة وصيانة أنظمة الصرف

يجب القيام بالفحص الدورى المنتظم لأنظمة الصرف للتأكد من أن المصارف تعمل بكفاءة ولتجنب حدوث الإطماء أو الانسداد. وعند الوصول إلى شبكة الصرف خلال غرف التفتيش فيجب أن ترفع أغطية هذه الغرف بانتظام لكى تنظف مصائد الطمى وتكسح المواد المترسبة فى المواسير لمنع انسدادها ولابد من التأكد من عدم تسرب حبيبات التربة فى مصارف المواسير ذات الوصلات المغلقة أو المفتوحة. كما يجب اتخاذ إجراءات العلاج بشكل فعال فى حالة ظهور علامات لترسيب حبيبات التربة داخل المواسير. وفى هذه الحالة فإنه من المحتمل أن يكون الماء قد تسرب إلى التربة المحيطة بالماسورة من نقطة ما حيث يكون المصرف قد انكسر عندها وهذا يمكن أن يؤدى إلى التأثير على ثبات الميل. وبالإضافة إلى ذلك فإن الماء المتسرب يمكن أن يشير إلى وجود كسر بالماسورة يجب تحديد مكانه وإصلاحه فى الحال. ويجب أن يتم عمل فحص خاص فى أوقات المطر الغزير للتأكد من أن المصارف لم يحدث بها فيضان أو تحمل فى مائها حبيبات تربة قد تحركت بفعل النحر، ويجب أيضا أن يتم فحص مصبات المصارف للتأكد من عدم حدوث نحر خطير عندها، وللتأكد من أن نظام الصرف مازال له قدرة كافية فى أوقات الأمطار الغزيرة. وبالنسبة للتربة الخشنة المكونة لمرشحات المصارف فإنه يمكن أن يحدث انسداد فى مسامها وتحتاج إلى التغيير وفى هذه الحالة يفضل إحاطتها بالمرشحات النسيجية لمنع وصول حبيبات التربة الدقيقة إلى المرشحات التجميعية.

### ٤/٢/٧/٩ مراجعة وصيانة المنشآت

يجب القيام بفحص الحوائط المساندة بصفة دورية للتحقق من عدم ميلها أو تحركها ويجب أن يتم عمل الإجراءات العلاجية المناسبة إذا وجد أن هذه التحركات تزيد عن القيم المسموح بها، كذلك يجب مراقبة نمو النباتات فوق أعمال الحماية باستمرار، ويجب إزالة هذه النباتات إذا وجد أن لها تأثيرا ضارا على وصلات الخرسانة أو الطوب أو أنها تسبب انسدادا فى نظام الصرف. كما يجب فحص مواسير الصرف لضمان كفاءتها والتأكد من عدم تسرب التربة بها كنتيجة للنحر خلف المنشأ المساند.

ولا بد من فحص الجابيونات – وهى أقفاص سلكية مملوءة بالأحجار – للبحث عن مؤشرات تآكل الشبكات المعدنية ويجب أن يتم فحص أى تسرب للمياه خلال الجابيونات للبحث عن علامات للنحر، وإذا وجد أن الماء المتسرب يحمل حبيبات التربة فيجب أن تزال الجابيونات فى منطقة التسرب وتستبدل بطبقة ركامية تتكون من مرشح متدرج مصمم بعناية أو بنسيج جيوتكنيكى geotextile لدن منفذ.

### ٥/٢/٧/٩ مراجعة وصيانة نظم التربيط

عندما يكون الاحتفاظ بقدر معين من الإجهاد المسبق prestress عاملا ضروريا فى تصميم الأربطة anchors المؤقتة أو الدائمة للمنشآت المساندة فإنه يجب عمل قياسات دورية على قيم الجهد فى كل الأربطة لإعادتها إلى قيمها التصميمية كلما لزم ذلك. وربما يكون من الأفضل تثبيت خلية لقياس الحمل فى نهاية الرباط مع تسجيل دائم لمراقبة الحمل باستمرار إذا كان هناك حاجة لذلك. كما يجب أن يتم إعادة الجهد لقيمته التصميمية تحت إشراف متخصص.

### ٦/٢/٧/٩ التحكم ومراقبة التغيرات

يجب أن يتم التحكم والمراقبة على كل أشكال التغييرات التى تحدث على أو حول قمم الميول، كما يجب أن يحظر (أو يراقب جيدا) إلقاء النفايات أو العوادم على الميول أو المساطيح أو فوق الحوائط المساندة وان تراقب الأنشطة الزراعية كزراعة الحدائق للتأكد من أن زراعة الميول أو تصريف الماء لا يؤثر على ثبات سطح الميل كما يجب أن يؤخذ أى إنشاءات يراد إقامتها فوق قمة الميل فى الاعتبار لدراسة التأثيرات المحتملة من زيادة الحمل. وفى حالة الضرورة وعند إنشاء مبنى جديد يجب أن يحمل هذا المبنى على أساسات خازوقية لنقل الأحمال إلى ما تحت المناطق ذات الإجهاد الحرج فى كتلة الميل. ويجب ألا يسمح بسريان المياه من المصارف

الزراعية أو المياه السطحية من الطرق والمباني على سطح الميل. وإذا كان تجنب ذلك مستحيلا فيلزم الاستعانة بنظام صرف خاص لضمان حماية كافية لسطح الميل. ويجب أن يحدد مكان أى تسرب سطحى بحيث يكون الماء المتسرب فى التربة أو فى الكتلة الصخرية خلف الميل ليس له تأثير ضار على ثبات الميل فى المدى القصير أو البعيد.

ويجب أن يتم مراقبة رعى الحيوانات أو حركة الناس لضمان عدم إتلاف غطاء الحشائش الأمر الذى قد يؤدى إلى تآكل التربة التى تم تعريتها. ويجب مداومة المراقبة لعمليات تنظيف السطح عند قدمة الميل لضمان عدم تآكله وعدم قلقلة مصارف القدمة وانسدادها بفعل التربة الملقاة عليها كما أن عمل حائط ساند صغير أو بردورة للمحافظة على شكل الميل يعتبر وسيلة من وسائل الصيانة أيضاً.

وفى حالة أعمال التعدين يجب أن تفحص ميول القطوع والمناطق المحيطة بشكل دورى لضمان عدم الإضرار باتزان أو ثبات هذه الميول نتيجة لحدوث أى شروخ أو مناطق تركيز إجهادات فى التربة أو الصخر.

### ٣/٧/٩ مصادر النحر

### ١/٣/٧/٩ مقدمة

قبل البدء فى اتخاذ الإجراءات الكفيلة لمنع النحر يجب أولا تحديد مصادره التقليدية وذلك فيما يلى:

### ٢/٣/٧/٩ المياه

إن أكثر مصادر النحر شيوعا هو ذلك المصدر الناتج عن حركة الماء. ويمثل المطر أكثر عوامل النحر تأثيرا على ميول الأعمال الترابية خلال الإنشاء وبعد إتمامه، ويعتبر تهديدا خطيرا لثبات الميول فى كلتا الحالتين. وسقوط المطر بغزارة يفكك أسطح الأعمال الترابية ويساعدها على امتصاص المياه والوصول إلى حالة التشبع. ولو صممت هذه الأعمال تصميماً صحيحاً فان الماء سوف يتسرب عن طريق مصارف دائمة أو مؤقتة. وإذا كان الاعتماد فقط على نوعية التربة وعدم إنشاء المصارف، فإنه من الممكن أن يحدث جرف شديد لسطح التربة مما قد يضر بالمنشآت المجاورة. وامتصاص ماء المطر الغزير فى جسم الميول الترابية يمكن أن يرفع محتوى الماء إلى حدود غير مقبولة بحيث يمكن أن يؤدى تسرب هذه المياه الزائدة على المدى الطويل إلى حدوث نحر سطحى أو إنزلاقات. وفى معظم الحالات تكون هذه الإنزلاقات ذات

عمق صغير (ضحلة) وعادة ما تقتصر على الأسطح الخارجية فقط . ورغم أنها غير متلفة إنشائيا إلا أنها غير مقبولة سواء من الناحية الشكلية أو الجمالية.

وقد تؤدى تيارات الماء ( الناتجة من مصادر أخرى بخلاف المطر) التى تسرى على طول سطح الميل إلى نحر الزبان وفى بعض حالات الفيضان قد تغمر جزءا من الميل مما قد يقلل أو يضعف اتزانه.

وعندما يركد الماء خلف الأعمال الترابية فإن التربة الضعيفة (سائبة أو رخوة) يمكن أن تنحر بفعل الأمواج وهذه الحالة يجب دراستها بشكل مستقل عن حالات الفيضان العادية. ويمكن أن تتفكك أعمال حماية السطح الموجودة بفعل التفريغ الناتج من الأمواج. وفى حالة المياه المعرضة للمد والجزر باستمرار فإن الارتفاع والانخفاض لمنسوب المياه الجوفية يمكن أن يؤدى إلى هروب حبيبات التربة من الميل. ونتيجة لتصريف أو تخزين المخلفات الكيماوية أو الفضلات الصناعية الأخرى على الميول الترابية قد يحدث نحر داخلى بالتحلل أو الذوبان.

### ٣/٣/٧/٩ الرياح

يسبب فعل الرياح كعامل من عوامل النحر – المتواجدة فى حالة الملقس الجاف – أسوأ تأثيراته خلال الإنشاء خاصة فى حالات الحفر أو الردم بتربة حبيبية. وفى مناطق الأعمال الترابية حيث توضح خصائص التربة وجود نسبة من المواد الناعمة، يجب أن تؤخذ احتمالات النحر بالرياح فى الاعتبار باهتمام ويجبُ أن تتخذ الاحتياطات اللازمة خلال فترة الإنشاء لتثبيت الأسطح المعرضة لفعل الرياح.

### ٤/٣/٧/٩ مصادر أخرى

تغيير أنماط الزراعة وخاصة تلك التى تؤدى إلى مزيد من المياه السارية على السطح يمكن أن تؤدى إلى النحر وكذلك فإن مرور المشاة والحيوانات (خاصة عند أحرف العمل الترابى) قد يؤدى أيضا إلى النحر.

والردم غير المعتنى به بجوار المنشآت وخنادق المصارف غير المدموكة جيدا وما شابه ذلك تسبب تركيزا للماء مما يسبب نحرا للأعمال الترابية. وكذلك إذا كانت المرشحات المستخدمة لحماية الميول الخلفية للقطوع أو الجسور ترتكز على تربة قابلة للتشكل بدرجة كبيرة أو تحتوى على نسبة عالية من المواد الناعمة القابلة للغسيل عند زيادة محتوى الرطوبة بها قد يؤدى أيضا إلى النحر.

### ٤/٧/٩ أساليب الحماية

#### ١/٤/٧/٩ مقدمة

من المهم اختيار أسلوب الحماية الملائم لظروف الموقع بالإضافة إلى معرفة العوامل المسببة للنحر. ويجب أن يتم التوازن بين التكاليف لتحديد أيهما أكثر اقتصادا لتنفيذ أسلوب حماية مثالى أو دائم لمنع أى نحر للميل.

ويجب أخذ العوامل البيئية فى الاعتبار بالإضافة إلى العوامل الهندسية والاقتصادية عند اختيار إجراءات الحماية. حيث تعتبر الحماية جزءا من تصميم العمل الترابى، كما يمكن أن تدخل ضمن عوامل تقليل تأثير العمل الترابى على البيئة المحيطة، وتتلخص أساليب حماية ميول الأعمال الترابية من النحر فيما يلى:

#### ٢/٤/٧/٩ الإنبات أو زراعة الميول

أكثر طرق الحماية شيوعا تتدرج تحت بند الإنبات، ويكون هذا الأسلوب فعالا فى حالة توافر الظروف المناخية التى تسمح بانتشار النباتات ونموها تلقائيا. ويتم اختيار نوع النبات المستخدم بحيث لا يفسد البيئة بل يفيدها.

ونباتات التجميل هى الأكثر استخداما فى هذه الحالة حيث تتم زراعتها إما بوضع البذور فى طبقة تربة سطحية تفرش على سطح الميل بسمك يتراوح بين ١٠ سم و ٢٠ سم أو بخلط البذور مع الأسمدة العضوية ووضعها مباشرة على تربة الميل الطبيعية.

وهناك أنواع مختلفة من الأسمدة ولكن يستحسن الاستعانة بالخبراء المتخصصين لاختيار المادة الملائمة لنوع البذور والتربة المكونة للميل مع استخدام إضافات لتثبيت السماد فى التربة. وفى بعض الحالات يفضل لظروف بيئية أن تسمح بحرية الإنبات لتشجيع نمو الخضرة فى منطقة ما. ويمكن أن تستخدم مساحات الحشائش على الميول كمراعى مفيدة للحيوانات إلا إذا كانت هناك عوامل بيئية أو عوامل أخرى تفرض أن تظل الحشائش قصيرة عن طريق القص والتهذيب.

وعندما تكون حماية سطح الميول مطلوبة بسرعة فمن الممكن تغطيته بطبقة من التربة الحاوية لجذور الحشائش. وبصفة عامة فإن هذه الطريقة عادة ما تكون أكثر تكلفة من الزرع أو البذر. ويجب أن تفرش الطبقة الحاوية للجذور جيدا على الميل.

كما أن الأشجار تعطى غطاء أفضل وجذورا أعمق من الحشائش، وبالإضافة إلى قيمتها الجمالية فربما يكون لها فائدة اقتصادية. ويجب أن يكون نوع الأشجار ملائما للبيئة المحيطة، كما يجب

الحرص على إلا يؤدى تغلغل الجذور إلى الأضرار بعمليات الصرف. وتؤخذ فى الاعتبار الأخطار الناجمة من سقوط الأشجار الكبيرة، وقد يستلزم ذلك عمل برنامج تهذيب مناسب لهذه الأشجار.

وفى حالة التربة الطينية فإنه يمكن أن يؤدى نمو الأشجار إلى حدوث هبوط لأسطح الميول المغطاة بالأسفلت نتيجة امتصاص جذور الأشجار لرطوبة الطين. كما قد يؤدى قطع هذه الأشجار إلى استرجاع الطين للماء وبالتالى حدوث انتفاش لأسطح الميول. وتعطى الشجيرات أو النباتات الصغيرة غطاء مرضيا وسريعا لأسطح الميول فى المناطق التى تكون زراعة الحشائش بها صعبة أو يصعب صيانتها، هذا بالإضافة إلى قيمتها الجمالية.

### ٣/٤/٧/٩ الصرف

قد يكون الصرف السطحى وسيلة هامة من وسائل منع النحر، وربما يكون لازما لتجميع المياه السطحية لمنعها من السريان على سطح الميل. وقد يأخذ الصرف شكل قنوات مفتوحة أو خنادق أو مواسير. ويجب أن يكون ميل المصارف مثاليا بقدر الإمكان ومناسبا لنوعها وألا يقل ميلها عن ١:٣٠٠ إلا إذا كان الغرض الأساسي منها هو تجميع المياه فيسمح فى هذه الحالة بميل أقل من ذلك. وتعتمد كفاءة المصارف على طبيعة تربة الميل وطبوغرافيتها.

### ٤/٤/٧/٩ أشكال أخرى من الحماية

يؤدى التدبيش والسفلتة إلى حماية فعالة للميول، وخاصة الميول المعرضة لحركة المياه، ولكن هذه الطريقة مكلفة وتستخدم فقط إذا لم يكن هناك بديل آخر. ويجب الاهتمام بألا يتعرض زبان الميل المكسو بالدبش للنحر وأن لا يتولد ضغط ماء إضافى خلف التدبيش. ويجب أن يستعمل فى التدبيش أحجار ثقيلة ترص بعناية وعندما تستخدم المونة لربط الأحجار المتراصة ينبغى عمل مواسير صرف للسماح بهروب الماء. ويستخدم التبليط أو السفلتة على نطاق واسع فى المناطق التى يتعذر فيها الإنبات، وذلك فى شكل كتل خرسانية سابقة الصب متداخلة أو فى شكل أحجار عشوائية، وقد يكون ذلك بغرض التجميل. وعندما تستخدم السفلتة فإن تربة الميل السطحية يجب أن تكون مدموكة جيدا، وتغطى بطبقة من الرمل والأسمنت. كما يجب أن تسد فواصل السفلتة لمنع دخول مياه الأمطار. وبمجرد أن تتشقق الفواصل المسدودة فى المنطقة المسفلتة يحدث النحر بسرعة ويكون العلاج مكلفا.

وفى حالة ميول القطوع فى الصخر المتشقق يلزم إزالة التكوينات غير الثابتة أو المتحللة ويملأ مكانها بالمونة يدوياء ولكن لا يمكن استخدام هذا الحل إلا فى المسطحات الصغيرة.

وعندما تستخدم الحشية المملؤة بالأحجار stone- filled mattress أو شبك الأحجار لحماية الميل عند اتصال الطول المحمى من الأرض الطبيعية يجب التأكد من أن الحشية مثبته فى تربة ثابتة. ولكى يمنع نحر التربة خلف الحشية يمكن تثبيت الأقفاص السلكية المملؤة بالأحجار عند نهايتها.

ويمكن استخدام الأنسجة الصناعية لعمل حماية سريعة ضد النحر عندما يكون الإنبات صعبا أو بطيئا. ويجب رش تربة الميل وخلطها ببعض المواد المناسبة للحفاظ على رطوبتها قبل فرش النسيج الصناعي. ويمكن استخدام البيتومين (على الساخن – أو كما هو شائع كمستحلب) على الميول فى حالة التربة المفككة لإعطاء تماسك مؤقت للسطح حتى يتم الإنبات.

وعند استخدام المخلفات الصناعية فى الردم، يجب الاهتمام ( فى مرحلة التصميم) بالمخاطر البيئية التى يمكن أن تنجم خاصة من فعل رشح المياه. وقد تعطى التغطية بالطين لردم المخلفات حماية كافيه رغم أن تكاليف استيراد الطين ونقله وفرشه قد يتعدى الوفر الناتج من استخدام المخلفات الصناعية.

ويمكن عمل تغطية بطبقة حبيبية على أسطح الميول المعرضة لرشح دائم وذلك بديلا عن عمل نظام صرف معقد . وفى هذه الحالة فان الردم الحبيبى يصبح مصفاة مستمرة وبالتالى يعمل كطبقة حماية على السطح.

ويمكن استخدام الشبك السلك wire mesh أو اللدائن أو الحبال على أسطح الصخر المتشقق برغم أن هذا لا يعطى حماية كاملة لسطح الميل ولكنه يعطى حماية للأراضى المجاورة.

### ٥/٧/٩ الأعمال العلاجية بعد انهيار الميول

#### ١/٥/٧/٩ مقدمه

قد تسبب التحركات التى تحدث نتيجة لبعض أنواع انهيار الميول إعادة ثبات مؤقتة. حيث أن انزلاق القص الدائرى يقلل من انحدار سطح الميل ويعمل على استعادة الثبات نتيجة لوزن الكتلة المنزلقة فوق زبان الميل ونتيجة لإنقاص الكتلة المسببة لعدم الثبات كنتيجة للتليين والتفرطح softening and slumping الكتلة المنزلقة عند الزبان.

ويمكن السماح ببعض الحركة للميول إذا لم يؤدى ذلك إلى انسداد لطريق نقل أو تهديد لحياة أو ممتلكات الناس. ويجب أن يدرس السلوك المستقبلى المحتمل للميل حيث أن الانزلاق عموما يؤدى ( سواء عاجلا أو آجلا) إلى انزلاق آخر. ولو تبين أنه ليس هناك تهديد للحياة أو الممتلكات أو لو كان من الموثوق به أن أى مضاعفات للتحركات الحادثة فى الميل سوف يمكن التعامل معها بأمان فأنه يمكن التغاضى عنها مع الأخذ فى الاعتبار أن يكون مظهرها مقبولا.

ولو توفرت مساحة كافية أمام الميل فأن افضل طرق العلاج اقتصاديا ألا تبذل المحاولات لإعادة الميل إلى وضعه الأصلى ولكن أن تتخذ إجراءات لتثبيت الميل المنزلق بتحسين ظروف الثبات عند زبان الميل وقطع السطح البارز المنحدر عند القمة.

وعندما يزحف الانزلاق على طريق أو خط سكه حديد فإن إزالة التربة المنزلقة عند الزبان سوف ينشط الانزلاق من جديد. وإذا كان هناك حيز متسع فى جهة أسفل الميل فيجب الاهتمام بتحويل الطريق أو السكة الحديد حول الكتلة الزاحفة عند زبان الميل، وهذا عادة يكون أرخص من محاولة تدعيم الميل المعاد إصلاحه.

وعند تنفيذ خطة الإصلاح بعد الانزلاق فقد يكون ضروريا تنفيذ العمل على مرحلتين، المرحلة الاولى هى اتخاذ إجراءات فورية لإعادة فتح الطريق أو تأمين المنشآت المجاورة، والمرحلة الثانية هى اتخاذ إجراءات دائمة للثبات، وإذا لم يكن هناك تأثير على طريق أو منشات مجاورة فانه يمكن اتخاذ العلاج الأرخص والذى يتطلب مساحات أكبر بتصغير زاوية الميل.

### ٢/٥/٧/٩ العلاجات الفورية

إن عمل تقييم عام لأسباب عدم الثبات هو الخطوة الأولى بحيث تعرف الأضرار الناتجة من محاولة إعادة الميل إلى وضعه الأصلى. وقد تحدث إنزلاقات كثيرة نتيجة دخول المياه فى تشققات الميل وحيث يجب التحكم فيها بسرعة قدر الإمكان، ويجب سد كل الشروخ المفتوحة لمنع دخول المياه إلى الميل. ويجب أن يبعد الماء السطحى والماء الجوفى على أعماق بسيطة عن مكان الانزلاق عن طريق مجارى التصريف المفتوحة أو مواسير الصرف. أما الماء المتراكم فى الكتلة المنزلقة أو الماء الجارى منها فيجب أن يصرف أو يضخ بعيدا. ويجب أن تتخذ إجراءات الصرف العميق المؤقتة عن طريق الضخ من الحفر. كما يتضمن ذلك عمل حفر استكشافية مثل ابار الضخ.

والوسائل المتبعة للتخلص من الأنقاض المنزلقة تأخذ شكل الكتلة المنزلقة فى الاعتبار وكذلك وسائل الوصول إلى المنطقة التى حدث بها الانزلاق وأيضا المخاطر التى قد تحدث عند إعادة الجزء السفلى من الميل إلى شكله الأصلى. وفى حالة الانزلاق الدورانى ووجود حيز كاف فانه يمكن استعادة ثبات الميل بإزالة التربة المتبقية فوق قمة الكتل المنزلقة ووضع التربة المأخوذة منها فوق زبان الجزء المنزلق. وفى جميع الحالات يجب الاهتمام بمنع حدوث انزلاقات أخرى ويتم ذلك بالحفر عند أعلا الميل أو التحميل عند زبان الكتلة المنزلقة. وعادة ما يكون اعادة الاتزان للجزء السفلى من الميل عن طريق وضع الكتل على المستوى الأفقى أمام الميل فعالا عن وضعها على الميل نفسه.

والطرق الميكانيكية التى يمكن اعتبارها إجراءات فورية هى دق الخوازيق اللوحية sheet piles لتدعيم زبان الكتلة المنزلقة، ودق قضبان قديمة أو خوازيق خشبية أو صب خوازيق خرسانية بالتنقيب على مسافات متقاربة، أو وضع ألواح خشبية ترتكز فى الخوازيق ذات المقطع H المدقوقة داخل الكتلة المنزلقة (وهى تعرف بحائط برلين). وعندما يشكل الانزلاق السريانى flow slide أو سريان الوحل mud flow خطورة على منشأ هام فمن الممكن استرجاع الثبات فى الحال بتجميد الكتلة المنزلقة وهذا يمكن إنجازه بدق مواسير ذات طرف مغلق داخل التربة على مسافات متقاربة يحقن بداخلها النتروجين السائل (أو أى مجمد آخر) لتجميد التربة المحيطة. وبالرغم من كفاءة هذه العملية إلا أنها مكلفة عند تنفيذها لوقت طويل.

ويمكن تثبيت الميول المؤقتة لحفر الأساسات ضد النحر السطحى بفرش الخيش المقطرن أو ألواح البولى إثيلين أو طبقة من الخرسانة الكثيفة.

وللحصول على أحسن تأثير ممكن فأن هذه الإجراءات لابد أن تتخذ قبل فتح الشروخ الناتجة من الانكماش. والميول المؤقتة فى الطين الرخو والطمى يمكن أن تثبت باستخدام السريان الأسموزى الكهربائى.

أما الإجراءات الفورية لاستعادة ثبات الميول الصخرية فيتضمن تنفيذ ثقوب لتخفيف ضغط الماء العالى وإغلاق الشروخ المفتوحة فى الخرسانة أو المونة.

### ٣/٥/٧/٩ العلاجات طويلة المدى

#### ٣/٥/٧/٩/أ مقدمة

قبل تحديد أى نوع من أنواع الإجراءات طويلة المدى التى تتخذ لاستعادة الثبات لميل قطعى، لابد من دراسة أسباب الحركة. ويجب إجراء مسح طبوغرافى وتقييم جيولوجى عام للموقع، يليه استكشاف لما تحت سطح الأرض بواسطة حفر اختبار أو جسات ، وايضا اتخاذ إجراءات لتحديد سطح الانزلاق. كما يجب مراقبة ضغط مياه مسام التربة والحركات الأرضية سواء فى منطقة الانزلاق أو فى المناطق المجاورة الثابتة. وبتجميع كل المعلومات عن ظروف الانزلاق وبالانتهاء من تحليل أسباب عدم الثبات يجب أن تتخذ الإجراءات العلاجية طويلة الأمد فى ضوء اقتصاديات الإنشاء وأهمية ضمان الثبات (على سبيل المثال يجب أن نضمن صيانة الوصلات فى الطرق وخطوط السكك الحديدية) ، ووجود المبانى أو أى أعمال يمكن أن تهدد نتيجة استمرارية عدم الثبات.

#### ٣/٥/٧/٩/ب تعديل شكل الميول الجانبية

يمكن أن تهذب الميول بالحفر أو بالردم بحيث تكون أقل انحدارا لو كان هناك أرض متسعة سواء عند قمة الميل أو زبانه الميل بحيث يمكن تشكيل المساطيح على الميل. كما أن إزالة الغطاء النباتى أثناء التهذيب يمكن أن يقلل الثبات بشكل مؤثر عند بداية الطقس الرطب، ولذلك يجب أن تتخذ الإجراءات المناسبة لاستبدال الغطاء النباتى. ويتخذ شكل التهذيب عدة أشكال منها أولا زيادة درجة الميل أو ثانيا الردم على زبان الميل لتكوين مساطيح أو ثالثا تقليل ارتفاع الميل مع المحافظة على نفس ميله. والحل الأول مفيد فى حالة الانهيارات السطحية القريبة من سطح الميل لكنه لا يفيد فى حالة الانهيارات العميقة حيث يكون الحل الثانى باستخدام مساطيح عند زبان الميل أكثر ملاءمة والحل الثالث يعد أكثرهم عدم ملاءمة فى العديد من الحالات.

#### ٣/٥/٧/٩/ج الصرف

إن تقليل ضغط المياه داخل مسام تربة الميل يمكن أن يكون إجراءا اقتصاديا فعالا سواء داخل أو على سطح تربة الميل وقد تكون المصارف سطحية أو عميقة والأخيرة مكلفة إلا أنها أكثر تأثيرا. وتنشأ عادة المصارف السطحية إما من خنادق مملوءة بركام مرشحات مع حماية سطح تلك المرشحات من حركة المشاة عليها باستخدام ركام ذو مقاس اعتبارى أكبر، أما المصارف العميقة فيعتمد عملها على تغيير شكل تسرب المياه داخل كتلة الميل. وتعتبر خنادق الصرف شكلا من

أشكال تلك المصارف وكذلك المصارف الرأسية المملوءة بالرمل أو الزلط، إلا أنه يجب أن يكون هناك حرص على دراسة تأثير وجود مثل هذه المصارف على استقرار كتلة الميل سواء عند الإنشاء أو على المدى البعيد. ومن الأشكال الأخرى للمصارف العميقة المصارف الأفقية أو القريبة من الأفقية التى تنشأ باستخدام المواسير الخرسانية أو الفخارية ذات الوصلات المفتوحة مع حمايتها بطبقات مرشحات ركامية متدرجة أو نسيج صناعى. وتستخدم المصارف من المرشحات الركامية المتدرجة فى حالة إنشاء كتلة الميل بالسدود ويجب التأكد من أن تأثير المصارف الأفقية فى جميع الأحوال لا يؤدى إلى زيادة سرعة المياه المسامية داخل كتلة الميل إلى الحد الذى يؤدى إلى حدوث نحر داخلى.

**٣/٥/٧/٩د/ الطرق الميكانيكية**

يمكن أن يتطلب الأمر استخدام حائط ساند أو نظام تربيط anchorage system .

**٣/٥/٧/٩هـ/ ربط الصخور والعلاج اللازم لأسطحها**

يمكن استعادة ثبات الكتل الصخرية باستخدام طريقة ربط الصخور أو بفرش الخرسانة أو المونة على السطح لملء الفواصل المفتوحة أو الشروخ أو لتدعيم الكتل الصخرية المعلقة. ويمكن أن تدعم الصخور الكبيرة المعلقة ببناء حوائط من الطوب أو الخرسانة، وإذا كان ضروريا فتربط هذه الحوائط أو القوائم فى صخور ثابتة بواسطة مسامير للصخر rock bolts أو أوتاد بسيطة. كما يجب أن تعمل مواسير صرف لمنع تكون الضغط الهيدروستاتيكى خلف هذه المنشآت الساندة. وعندما يكون مظهر وجه الصخر له أهمية فأنه يجب أن تغطى أسطح الخرسانة بالدبش لكى تشبه الصخور المحيطة. وعندما تكون الكتل الصخرية مربوطة بمسامير رباط فان رؤوس المسامير يجب أن تقع فى قطع غائر فى وجه الصخر يملأ بمونة أسمنتية ملونه لتشابه الصخر المحيط. ويجب الاهتمام بتغطية المناطق ذات الصخر الضعيف وغير المتماسك بالرانتجات أو بمونة لها نفس لون صخر الميل.

**٣/٥/٧/٩و/ الحقن**

هناك صورتان للحقن يمكن أن تؤخذ فى الاعتبار كإجراء علاجى هما الاختراق penetration والتشقق الهيدروليكى hydrofracture ويمكن استخدام طريقة الاختراق بحقن محلول معلق أو محلول غروى لتثبيت التربة الحبيبية ذات الملمس المفتوح open textured والكتل الصخرية

المفككة. والحقن يخترق الفجوات بين حبيبات التربة أو الصخر ثم يرسب ليكون كتلة جاسئة. كما يجب ألا تسبب طرق الحقن أضرارا جديدة للميل ويجب استشارة مسئول الصحة قبل استخدام الحقن الكيميائى.

وفى طريقة التشقق الهيدروليكى تزاح التربة أو تراكيب الصخر عندما يأخذ الحقن طريقه خلال مناطق أو مستويات الضعف لتكوين طبقة لاحمة ، وضغط الحقن يكون دالة فى مقاومة التربة.

والحقن بمواد عالية اللزوجة مطلوب ولذلك فانه لتقليل التكاليف تستخدم معلقات من الأسمنت البورتلاندى والرمل والمواد المعدنية المالئة mineral fillers ولما كان طول مسار مادة الحقن من مصدر الحقن إلى الكتلة المراد حقنها معتمدا على لزوجتها العالية فانه تستخدم شبكة grid من فتحات الحقن حتى يمكن التعامل مع الكتلة المراد حقنها.

### ٣/٥/٧/٩/ز الطرق الكهروكيميائية

تعمل الطرق الكهروكيميائية للتثبيت على أساس إدخال محاليل كيميائية فى التربة تحدث تغييرا فى التركيب المعدنى للحبيبات وبالتالى تزيد من مقاومة التربة للقص. ويمكن أن يطبق التثبيت الكهروكيميائى على التربة الطمية والطمى الطينى والتى تكون أنعم من أن يستخدم فيها الحقن التقليدى بالكيماويات، وإذا طرأت صعوبات فى إدخال الالكتروليتات (السوائل المتحللة) فى التربة نتيجة صغر قيمة النفاذية فهناك طريقتان يمكن استخدامهما:

١- نظام السريان الأسموذى بالكهرباء : وفيه تغذى الأقطاب الموجبة بالالكتروليت .

٢- طريقة الخلط فى الموقع : حيث تستخدم معدة الحفر لخلط التربة مع الالكتروليت كمسحوق أو روبة أو فى شكل محلول .

وفى الحالات التى تكون فيها أملاح التربة مفضلة للتبادل القاعدى يمكن أن تستخدم الطريقة (٢) لتكوين أعمدة متقاربة من التربة المثبتة بالجير المميأ لتدعيم الميول المنحدرة.

## ٨/٩ الخنادق

### ١/٨/٩ طرق الإنشاء

يجب أخذ العوامل التالية فى الاعتبار عند تصميم الخنادق trenches وحفرها وسند جوانبها وردمها :

١- الغرض من حفر الخندق وموضعه.

المفككة. والحقن يخترق الفجوات بين حبيبات التربة أو الصخر ثم يرسب ليكون كتلة جاسئة. كما يجب ألا تسبب طرق الحقن أضرارا جديدة للميل ويجب استشارة مسئول الصحة قبل استخدام الحقن الكيميائى.

وفي طريقة التشقق الهيدروليكى تزاح التربة أو تراكيب الصخر عندما يأخذ الحقن طريقه خلال مناطق أو مستويات الضعف لتكوين طبقة لاحمة ، وضغط الحقن يكون دالة فى مقاومة التربة.

والحقن بمواد عالية اللزوجة مطلوب ولذلك فانه لتقليل التكاليف تستخدم معلقات من الأسمنت البورتلاندى والرمل والمواد المعدنية المالئة mineral fillers ولما كان طول مسار مادة الحقن من مصدر الحقن إلى الكتلة المراد حقنها معتمدا على لزوجتها العالية فانه تستخدم شبكة grid من فتحات الحقن حتى يمكن التعامل مع الكتلة المراد حقنها.

### ٣/٥/٧/٩/ز الطرق الكهروكيميائية

تعمل الطرق الكهروكيميائية للتثبيت على أساس إدخال محاليل كيميائية فى التربة تحدث تغييرا فى التركيب المعدنى للحبيبات وبالتالى تزيد من مقاومة التربة للقص. ويمكن أن يطبق التثبيت الكهروكيميائى على التربة الطميية والطمى الطينى والتى تكون أنعم من أن يستخدم فيها الحقن التقليدى بالكيماويات، وإذا طرأت صعوبات فى إدخال الالكتروليتات (السوائل المتحللة) فى التربة نتيجة صغر قيمة النفاذية فهناك طريقتان يمكن استخدامهما:

١- نظام السريان الأسموذى بالكهرباء : وفيه تغذى الأقطاب الموجبة بالالكتروليت .

٢- طريقة الخلط فى الموقع : حيث تستخدم معدة الحفر لخلط التربة مع الالكتروليت كمسحوق أو روبة أو فى شكل محلول .

وفى الحالات التى تكون فيها أملاح التربة مفضلة للتبادل القاعدى يمكن أن تستخدم الطريقة (٢) لتكوين أعمدة متقاربة من التربة المثبتة بالجير المميأ لتدعيم الميول المنحدرة.

## ٨/٩ الخنادق

### ١/٨/٩ طرق الإنشاء

يجب أخذ العوامل التالية فى الاعتبار عند تصميم الخنادق trenches وحفرها وسند جوانبها وردمها :

١- الغرض من حفر الخندق وموضعه.

٢- حجم الخندق ، حيث يجب اختيار عمق وعرض الخندق بما يسمح بتنفيذ الأعمال الدائمة داخله.

٣- فترة بقاء الخندق مفتوحاً ، حيث يجب اختيار طول الجزء من الخندق الذى يجب بقاؤه مفتوحاً طول هذه الفترة بناء على متطلبات تنفيذ واختبار الأعمال الدائمة داخل الخندق ، ويجب عدم بقاء الخندق مفتوحاً لمدة أطول من المطلوب.

٤- طبيعة التربة ، والتى يتم التعرف عليها قبل الحفر بناءً على نتائج برنامج أبحاث التربة مع الأخذ فى الاعتبار إمكان تغير طبيعة التربة ولذا يجب مراقبة جوانب وناتج الحفر .. وفى حالة ضرورة حفر خندق بجوار آخر تم حفره وردمه فيجب الاهتمام الكامل فى هذه الحالة بتصميم نظام سند جوانب الحفر.

٥- العوائق ، والتى من الممكن أن تكون فوق أو تحت سطح الأرض .. وبالنسبة للعوائق أسفل سطح الأرض فيمكن الاسترشاد عنها من خلال خرائط المرافق وتنفيذ حفر استكشافية.

٦- المياه الجوفية والتعامل معها (أنظربند ١١/٩).

٧- الالتزامات القانونية (أنظربند ٢/٨/٩).

### ٢/٨/٩ الالتزامات القانونية

عند الحفر فى الطرق الرئيسية يجب الحصول على موافقة الهيئات المسئولة على الحفر. وإذا كان يجاور الحفر مسافة بالطريق تسمح بالمرور يجب إحاطة الحفر بسور وحراسة وإنارة أثناء الليل لتحذير المارة. كما يجب وضع إشارات مرور ويكون تشغيلها طبقاً لتوجيهات هيئة الطرق وشرطة المرور.

وفى المناطق الأثرية يجب أخذ موافقة هيئة الآثار قبل الحفر. كما يجب أخذ موافقة هيئة السكك الحديدية عند الحفر تحت السكك الحديدية أو بجانبها أو وزارة الأشغال العامة والموارد المائية بالنسبة للمجارى المائية العمومية.

### ٣/٨/٩ طريقة التنفيذ

#### ١/٣/٨/٩ الطرق الأساسية لتنفيذ الخندق

١- يحفر قطاع بطول قصير من الخندق فى كل مرحلة وينفذ العمل بماكينة واحدة ، وهى الطريقة المتبعة عادة فى حالة المواسير الصغيرة ومواسير الصرف الصحى.

٢- يحفر قطاع طويل فى الخندق ويظل مفتوحاً ليسمح بمجموعة معدات لتنفيذ العمل بالكامل فى وقت واحد .. وتستخدم هذه الطريقة فى حالة العمل فى مساحات مفتوحة.

٣- حفر الخندق بكامل طوله على مراحل من أعلى إلى أسفل مع تركيب نظام سند الجوانب فى كل مرحلة حتى الوصول إلى العمق النهائى وتستخدم هذه الطريقة عادة للأساسات ذات الأعماق الكبيرة بالمواقع المحصورة وخاصة فى الأماكن المحاطة بالملكيات التى يجب أخذ الاحتياطات اللازمة بها لعدم تعرضها لأى أضرار ، وكذلك تستخدم هذه الطريقة عند تدعيم أساسات المبانى القديمة.

وفى بعض الأحيان تتواجد أماكن على مسار الخندق لا يمكن حفرها (مثل وجود خط سكك حديدية أو مصرف مائى هام أو طريق رئيسى) ، وفى هذه الحالة يمكن تنفيذ هذا الجزء باستخدام طريقة الدفع بدون حفر (دفع استاتيكى أو دفع ديناميكى).

### ٢/٣/٨/٩ الخنادق ذات الميول الجانبية

يمكن تنفيذ أى عرض أو عمق للخندق بميول جانبية فى حالة تحقق الشروط الآتية مجتمعة :

١- أن تكون طبيعة التربة مناسبة لحفر خندق بميول جانبية مستقرة بدون سند للفترة المطلوبة.

٢- أن يكون التحكم فى المياه الجوفية ممكناً بصورة كاملة بما يمنع حدوث انزلاق لجوانب الحفر أو غمر لقاع الحفر بالمياه.

٣- أن يكون تنفيذ الأعمال الدائمة بأمان فى الخندق ممكناً.

وهذا النوع من الخنادق يحتاج لحفر وتشوين كمية من ناتج الحفر أكبر من تلك الناتجة فى حالة الخنادق ذات الحفر الرأسى ولكنه يوفر فى التكاليف والوقت إذا استخدمت المعدات الميكانيكية المناسبة. ويراعى عند تشوين ناتج الحفر أن لا يسبب خطورة على سلامة جوانب الميل.

### ٣/٣/٨/٩ الخنادق ذات الجوانب الرأسية

جميع الخنادق ذات الجوانب الرأسية بعمق أكبر من ١,٥ متر يجب سندها إذا كان مطلوب دخول أشخاص فيها. وقد تحتاج الخنادق لعمق أقل من ١,٥ متر إلى سند الجوانب إذا كان العاملون يتطلب منهم العمل فى منسوب سطح الأرض كالرقود على قاع الخندق ، ويجب إدخال المنادات بطريقة لا تسبب مخاطر للعاملين نتيجة لعدم استقرار جوانب الخندق.

وفى التربة الضعيفة أو ذات محتوى رطوبة كبير قد يكون من الضرورى دق ستائر معدنية قبل الحفر. وقد تطورت الشدات إلى شدات متحركة تتحرك على طول الخندق أفقياً أو تتحرك من

السطح إلى أسفل لحماية العاملين .. ويجب مراعاة تشوين ناتج الحفر بما لا يسبب خطورة على سلامة نظام سند جوانب الحفر.

### ٤/٣/٨/٩ أرنكة قاع الخنادق

فى معظم الأحيان يحتاج قاع الخندق إلى التهذيب والتسوية bottoming بطريقة يدوية وعلى ذلك ففى معظم أنواع التربة يوقف الحفر الأساسى على منسوب أعلا من المنسوب النهائى ليترك الباقى لتهذيبه وتسويته بدقة حتى المنسوب المطلوب. وأثناء هذه العملية يجب تجنب قلقلة التربة عند قاع الحفر وخصوصاً فى الطين والطمى والرمل الناعم ، وعلى أساس الغرض المنشأ من أجله الخندق فقد يكون من الأنسب فى مثل هذه الأنواع من التربة وضع زلط أو كسر الأحجار أو الخرسانة الضعيفة بمجرد الوصول إلى منسوب القاع لتكوين طبقة سليمة. مع وجوب حفظ منسوب المياه الأرضية تحت منسوب القاع.

ومن المعتاد فى حالة الحفر فى الصخر أن يحفر أوطى من منسوب القاع ثم توضع طبقة من الرمل المدموك أو الخرسانة للوصول إلى القاع المطلوب.

### ٤/٨/٩ حفر الخنادق ميكانيكاً

عند حفر الخنادق ميكانيكاً يمكن حفر الخندق بقطاع واحد بكامل العمق والعرض من السطح حتى قاع الحفر ويتم عمل التسوية عند المنسوب النهائى للقاع بطريقة يدوية ، ويتم تركيب عناصر سند جوانب الخندق فى أسرع وقت عندما يسمح عمق الحفر بتركيبها. ويجب عدم دخول العاملين إلى الخندق قبل تأمين سلامة جوانبه. ويجب توافر السلالم على مسافات مناسبة ليسمح بالدخول بأمان والخروج بسهولة فى حالة الأخطار.

### ٥/٨/٩ حفر الخنادق يدوياً

عندما لا تسمح الظروف عملياً بالحفر الميكانيكى يصبح من الضرورى الحفر اليدوى ومثل هذه الظروف تشمل الآتى :

١- الأرض منحدرة انحداراً شديداً ولا تسمح باستخدام معدات الحفر ، أو مساحات التشغيل محدودة (مثل الشوارع الضيقة).

٢- تداخل المعدات مع حركة المرور.

٣- الأماكن التى يوجد بها عوائق كالكابلات والمصارف والمواسير.

٤- .الأسطح المغطاه بالبلاط الذى لا يتحمل المعدات.

٥- التربة الضعيفة جداً والتى لا تتحمل وزن وحركة المعدات.

٦- الأعمال الصغرى أو عندما يكون استخدام الطرق اليدوية أكثر اقتصاداً.

### ٦/٨/٩ طرق نزح المياه من الخنادق

أنظر (١١/٩).

### ٧/٨/٩ تنفيذ الأعمال أو وضع المواد المستديمة فى الخنادق

يمكن صب كميات الخرسانة المحدودة ووضع المواسير الصغيرة باستخدام الطرق اليدوية فى الخنادق. أما الوحدات الثقيلة فيمكن وضعها باستخدام المعدات الميكانيكية.

### ٨/٨/٩ الردم وإعادة السطح إلى حالته الأصلية

يجب أن يتم الردم والدمك حول المواسير باليد مع اختيار مواد مناسبة بارتفاع كاف لحماية هذه المواسير من الكسر نتيجة لعملية الدمك (أنظر أيضاً ٩-٤). ويستكمل الباقى من الردم على طبقات تسوى باليد وتدمك جيداً بالمعدات الميكانيكية وأقصى سمك للطبقة يجب أن يناسب طبيعة مواد الردم ونوع معدات الدمك مع الأخذ فى الاعتبار الهبوط المتوقع لسطح الأرض بعد إعادته إلى حالته الأصلية. ويمكن استخدام المعدات فى دفع التشوين إلى الخنادق. وفى هذه الحالة يترك الردم مرتفعاً ليسمح بالدمك. ويجب العناية لتجنب الأضرار للأعمال الدائمة أو انهيار جوانب الخندق.

وفى حالة الطرق يمكن إعادة السطح إلى حالته الأصلية بصفة مؤقتة ثم يترك لفترة كافية للسماح بهبوط سطح الردم ثم يتم عمل التسوية النهائية للسطح . وفى حالة تقاطعات الطرق الهامة ، تستخدم مواد للردم يمكن دمكها لدرجة كثيفة لا تسمح بانضغاطها بدلاً من استخدام ناتج الحفر.

### ٩/٨/٩ حالات خاصة

#### ١/٩/٨/٩ الخنادق الضيقة

تستخدم الخنادق الضيقة narrow trenches للكابلات والمواسير الصغيرة وكذلك لتنفيذ القواعد الشريطية والمصارف الأرضية وهذه الخنادق تكون عادة غير عميقة ولا يدخلها عمال كما أنها لا

تحتاج إلى سند جوانبها إذا وضعت الكابلات أو المواسير بعد حفر الخندق مباشرةً. ويمكن حفر هذه الخنادق يدوياً أو ميكانيكاً باستخدام الأدوات المناسبة.

### ٢/٩/٨/٩ خنادق الأحواض الجافة والأرصفة النهرية والحوائط الساندة

يوضح الشكل رقم (٩-٧-٢) طريقة حفر الخنادق فى الأراضى المنحدرة والمغمورة بالمياه جزئياً أو كلياً كتلك التى تنفذ على جسور الأنهار أو شواطئ البحار كالأحواض الجافة وأرصفة الموانىء docks and quays. وتدق الستائر الخازوقية الصلبة ويحفر الخندق وتوضع المسادات الخشبية وتقوى فى الاتجاه المحورى لمنع الانحناء تحت الضغوط المختلفة. وقد يتطلب الأمر وضع ركائز رباط لمقاومة ضغط التربة من خارج الخندق عندما ينخفض منسوب المياه.

وفى بعض الأحيان تسند جوانب الخندق باستخدام البنتونيت. ثم توضع خرسانة الحوائط الساندة خلال البنتونيت أو تخترقه بوحدات من الخرسانة الجاهزة.

## ٩/٩ الحُـــفر والبيارات

يعتمد اختيار طريقة السند على عمق الحفر وأبعاده الأفقية ونوع التربة ، والغرض من حفر البيارات shafts أو الحُـــفر pits . ومن الضرورى وضع سور أو أى حاجز للأمان حول الحُـــفر أو البيارات أثناء التنفيذ.

### ١/٩/٩ طرق التنفيذ

يمكن تنفيذ البيارات العميقة أو متوسطة العمق بطريقة أو أكثر من الطرق الآتى توضيحها :

#### ١/١/٩/٩ تغويص البئر

يتم إنشاء التبطين المستديم للبئر فوق سطح الأرض من الخرسانة أو الطوب على قاعدة من الخرسانة المسلحة مجهزة بنهاية قاطعة. وتزال التربة من داخل البئر وأسفل القاعدة. وفى هذه الأثناء يسمح بتغويص البئر well sinking بطريقة دقيقة باستخدام حمل ميت يستطيع التغلب على الاحتكاك الذى يتولد بين السطح الجانبى للبئر والتربة المحيطة به. ويمتد التبطين فوق منسوب الأرض حسب الضرورة لمراقبة معدل تغويض البئر.

تحتاج إلى سند جوانبها إذا وضعت الكابلات أو المواسير بعد حفر الخندق مباشرةً. ويمكن حفر هذه الخنادق يدوياً أو ميكانيكاً باستخدام الأدوات المناسبة.

### ٢/٩/٨/٩ خنادق الأحواض الجافة والأرصفة النهرية والحوائط الساندة

يوضح الشكل رقم (٩-٧-٢) طريقة حفر الخنادق فى الأراضى المنحدرة والمغمورة بالمياه جزئياً أو كلياً كتلك التى تنفذ على جسور الأنهار أو شواطئ البحار كالأحواض الجافة وأرصفة الموانىء docks and quays. وتدق الستائر الخازوقية الصلبة ويحفر الخندق وتوضع السنادات الخشبية وتقوى فى الاتجاه المحورى لمنع الانحناء تحت الضغوط المختلفة. وقد يتطلب الأمر وضع ركائز رباط لمقاومة ضغط التربة من خارج الخندق عندما ينخفض منسوب المياه.

وفى بعض الأحيان تسند جوانب الخندق باستخدام البنتونيت. ثم توضع خرسانة الحوائط الساندة خلال البنتونيت أو تخترقه بوحدات من الخرسانة الجاهزة.

## ٩/٩ الحُـــفر والبيارات

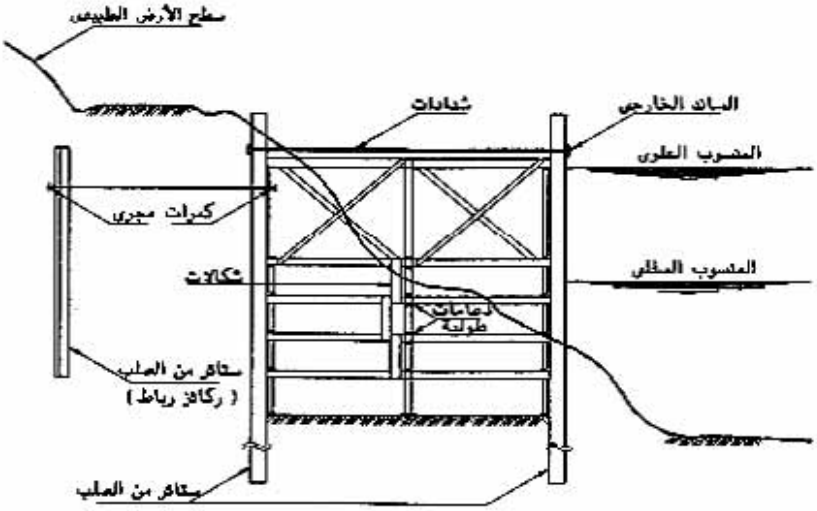
يعتمد اختيار طريقة السند على عمق الحفر وأبعاده الأفقية ونوع التربة ، والغرض من حفر البيارات shafts أو الحُـــفر pits . ومن الضرورى وضع سور أو أى حاجز للأمان حول الحُـــفر أو البيارات أثناء التنفيذ.

### ١/٩/٩ طرق التنفيذ

يمكن تنفيذ البيارات العميقة أو متوسطة العمق بطريقة أو أكثر من الطرق الآتى توضيحها :

#### ١/١/٩/٩ تغويص البئر

يتم إنشاء التبطين المستديم للبئر فوق سطح الأرض من الخرسانة أو الطوب على قاعدة من الخرسانة المسلحة مجهزة بنهاية قاطعة. وتزال التربة من داخل البئر وأسفل القاعدة. وفى هذه الأثناء يسمح بتغويص البئر well sinking بطريقة دقيقة باستخدام حمل ميت يستطيع التغلب على الاحتكاك الذى يتولد بين السطح الجانبى للبئر والتربة المحيطة به. ويمتد التبطين فوق منسوب الأرض حسب الضرورة لمراقبة معدل تغويض البئر.




**شكل (٩-٨-١) حفر الخنادق فى الأراضى المنحدرة والمغمورة جزئياً بالمياه**

وقد يحتاج الأمر إلى زيادة الحمل لتغويص البيارة بتحميل البيارة ببلوكات خرسانية ، كذلك يمكن تقليل الاحتكاك على جدار البيارة بحقن البنتونيت فى المسافة التى بين التبطين والتربة.

**٢/١/٩/٩ استخدام الحلقات الخرسانية سابقة الصب**

يتم إنشاء حلقات من الخرسانة فى الموقع عند سطح الأرض ثم يتم تركيب حلقة من الأجزاء الخرسانية سابقة الصب داخلها ويتم تربيطها باستخدام الصواميل.. ثم يتم الحفر داخل الحلقة حتى الوصول إلى منسوب قاع حلقة جديدة بكامل المسطح يتم تركيبها ووصلها مع الحلقة الأعلى التى تم تركيبها سابقاً .. وهكذا حلقة بعد أخرى حتى يتم الوصول لمنسوب قاع البيارة المطلوب ، ويتم حقن الفراغ خارج الحلقات باستخدام البنتونيت بعد تركيب عدد من الحلقات وذلك لملء الفراغات التى تنشأ أثناء التنفيذ وكذلك لمنع الحلقات من الهبوط تحت تأثير وزنها.

وتستخدم طريقة التبطين على شرائح segmental lining بالحلقات الخرسانية سابقة الصب فى حالة تربة قادرة على الثبات بعمق الحلقة بدون سند جوانب الحفر.

### ٣/١/٩/٩ استخدام الحلقات الخرسانية المصبوبة فى الموقع

وهى طريقة مماثلة لتلك السابقة فيما عدا أنه يتم صب خرسانة التبطين المستديم فى الموقع بدلاً من استخدام حلقة من أجزاء خرسانية سابقة الصب .. وتتطلب هذه الطريقة أيضاً أن تكون التربة قادرة على الثبات بدون سند جوانب الحفر بعمق الحلقة.

وفى حالة التربة الضعيفة أو الحاوية للمياه الجوفية ، يمكن صب الخرسانة داخل خندق دائرى يتم حفره وسند جوانبه باستخدام البنتونيت.

### ٤/١/٩/٩ الخوازيق الخرسانية المتقاطعة أو الحوائط الغشائية

يمكن تنفيذ البيارات باستخدام الخوازيق المتقاطعة secant piles من الخرسانة أو المتلاصقة contiguous أو استخدام الحوائط الغشائية diaphragm walls. وفى هذه الحالة يمكن تقليل استخدام ألواح الربط الأفقية walers والدعامات العرضية struts أو استخدام ولايم دائرية من الخرسانة المسلحة أو الصلب .. ويمكن الاستغناء عن استخدام الولايم طبقاً لحسابات التصميم. ويوضح الجزء السابع (المنشآت الساندة) تفاصيل كل من النظم المذكورة.

### ٥/١/٩/٩ استخدام الغلاف الصلب

يمكن حفر البيارة بكباش أو بريمة ميكانيكية ويغوص الغلاف الصلب steel casing الدائم أو المؤقت كلما تقدم الحفر. وفى التربة المستقرة يمكن حفر البياره بكامل عمقها بدون سند جوانبها وبعد ذلك يُـنزّل القميص الصلب حتى قاع البياره.

### ٢/٩/٩ استخدام الطرق المختلفة لمعالجة التربة

يمكن تسهيل تفويص البيارات فى الأراضى الضعيفة أو المفككة أو الحاملة للمياه بالإستعانة بإحدى الطرق الخاصة بمعالجة التربة. وتشمل هذه الطرق الحقن بالأسمنت أو الكيماويات لتثبيت التربة أو سندها بالهواء المضغوط أو تجميد التربة.

## ٩/١٠ الحفر فى الصخر

### ٩/١٠/١ مقدمة

يتم إختيار طريقة تكسير وتفكيك وحفر الصخر أو أى تربة متحجرة تبعا لصلابة الصخر وكمية الحفر ونوع المعدات المتوفرة والظروف السائدة فى الموقع ويحتوى كلا من البندين ٩/١٠/٢ ، ٩/١٠/٣ على وصف لمختلف الطرق المستخدمة فى حفر الصخر .

وعادة ما يكون الثقب والنسف أكثر الطرق فاعلية وإقتصادا للحفر فى التكوينات الصخرية الصلبة ذات الطبقات السميكة . ولكن يفضل عدم إستخدام النسف فى الحالات الآتية :-

١- عندما لايسمح وضع الموقع عمليا بإتخاذ الإجراءات الوقائية لتلافى أى أضرار للمبانى أو الخدمات أو الممتلكات والتى قد تنجم عن عملية النسف أو المواد المتطايرة أو أى مصادر أخرى للخطر .

٢- عندما يكون الموقع مجاورا لطرق عامة قد يتسبب النسف فى توقف المرور أو فى مخاطر للمارة .

٣- عندما يجاور الموقع منشآت مثل المستشفيات والمدارس حيث تسبب النسف فى مخاطر صحية ومضايقات لشاغلى هذه المنشآت .

٤- عند وجود إحتمال أن يسبب النسف أو الإهتزازات الناشئة عنه عدم ثبات الميول المجاورة.

٥- عند إحتمال تعرض دعامات الحفر للضرر .

٦- عندما يجاور النسف مبانى الآثار .

وفى هذه الأحوال يفضل إستخدام التكسير اليدوى للصخر بإستخدام المطارق والأزاميل أو إستخدام الخوابير الخشبية والماء .

### ٩/١٠/٢ الحفر فى الصخر بالطرق الميكانيكية أو اليدوية

فى المناطق الواسعة يمكن تكسير الصخور الضعيفة أو الصلبة ذات الطبقات الرفيعة والوصلات المتعددة بواسطة أدوات التكسير الملحقة بالحفارات أما فى المناطق الضيقة مثل الخنادق أو الآبار تتم عملية التكسير بواسطة كباش مسنن أو بريمة دوارة مسننة .

كما يمكن تكسير الصخر بواسطة الدقاقات الميكانيكية مثل المطارق الهوائية أو الهيدروليكية أو الميكانيكية أو إستخدام بلدوزر مجهز بمحراث ripper ، ويفضل فى حالة إستخدام المطارق

الميكانيكية التى تعمل بالهواء المضغوط أو الهيدروليكية أن يتم الحفر بعمق ضحل على شكل مصاطب . ويتوقف ذلك العمق على سمك طبقات الصخر ونوع المعدات المتوفرة .

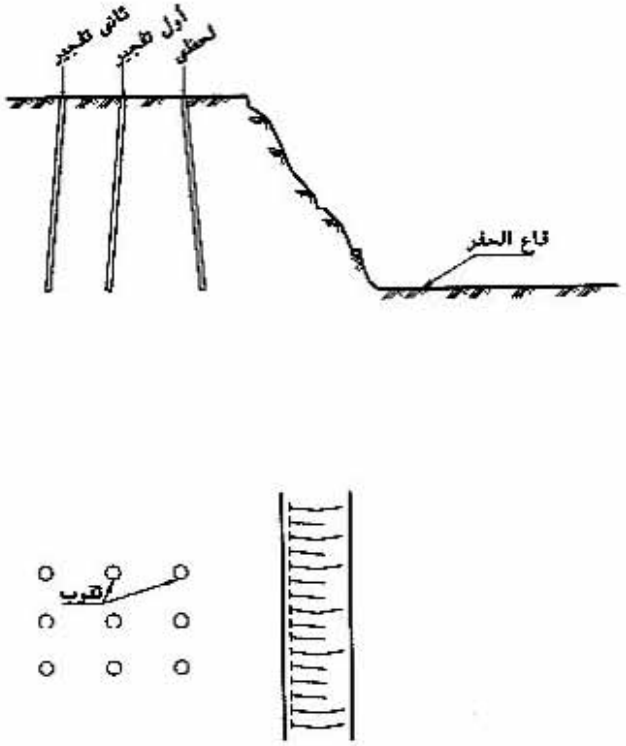
**٣/١٠/٩ الحفر فى الصخر بإستخدام الثقب والنسف**

تختلف الطرق الفنية للحفر فى الصخر عن طريق الثقيب drilling والتفجير explosion فى الخنادق والآبار والأعمدة عن تلك المستخدمة فى المحاجر .

ففى حالة المحاجر تتوقف المسافات بين الثقوب (وشحنها بالمتفجرات) على حاجة الحصول على صخر قابل للتكسير بأقل عمليات نسف ثانوية ، أما فى حالة الحفر لخنادق أو آبار أو أعمدة فالمطلب الرئيسى هو النسف الفعال بأقل متفجرات وأقل قلقلة للصخر المجاور لحدود الحفر النهائى .. وفى الحالتين يجب أن تكون الضجة والإهتزازات الناتجة عن النسف أقل ما يمكن كما يجب تجنب تطاير قطع الصخر .

يتم النسف الأكثر فاعلية عن طريق عمل صفوف من الثقوب لشحنها بالمتفجرات وذلك خلف حافة بحيث تكون الثقوب مائلة ميل بسيط على الإتجاه الرأسى نحو جانب الحافة وهكذا يصبح إتجاه قوة الإنفجار نحو جانب الحافة بدلا من إتجاهها إلى أعلى مما يتسبب فى تزايد كسور الصخر ، ويعتبر إستخدام معدات الثقب والمتفجرات إقتصاديا فى أعمال الحفر عامة حتى مسافة لاتقل عن ستة أمتار بعيدا عن حافة الحفر . كما يؤدى إستخدام أدوات تفجير متتابع فى كل صف ، مع زيادة زمن تأخير الإنفجار إلى زيادة المسافة من جانب الحافة . وهكذا يمكن الإحتفاظ بالمسافة المثلى بين الشحنة وحافة الصخر لكل صف من الثقـوب (أنظر شكل ٩-١٠) - كذلك يقل الضجيج والإهتزاز بإستخدام الشحنات المتتابعة .

ومن الممكن الإقلال من إمتداد الكسور حول جوانب الحفر كما يمكن الحفر فى الصخر بزوايا غير تقليدية بإستخدام إحدى الطرق الفنية المعروفة للتفجير المحكوم controlled blasting . وتعتمد هذه الطرق على تنفيذ ثقوب متقاربة على إمتداد خط الحفر وعلى توزيع شحن المتفجرات خلال طول كل ثقب بناء على تخطيط معين . فأما أن تشحن كل الثقوب أو يشحن بعضها فقط بالمتفجرات ، وفى بعض الطرق يتم تفجير الشحنات فى الثقوب على حدود الحفر فى نفس وقت إنفجار الشحنات الداخلية ولكن بإستخدام نظام أجهزة التفجير المتتابع . ويجب اللجوء إلى الشركات المتخصصة فى أعمال التفجير الموجه فى هذه الحالات. عند الحفر لآبار أو أعمدة المناجم يتم تفجير الثـقوب المركزية أولا حتى يتطاير الصخر إلى أعلى ، ثم تفجر حلقـات من




شكل (٩-١٠) : الحفر فى الصخر بالثقب والتفجير - حفر عام

الثقوب ذات مركز واحد حول الفوهة التى تكونت من تفجير الثقوب المركزية وذلك بإستخدام أجهزة تفجير متتابع حتى تتطاير كسور الصخور نحو الفوهة .

وفى النهاية يتم تفجير شحنات لتهذيب محيط الحفر كما هو مبين فى شكل (٩-١٠-٢) إلا إذا أستخدمت طريقة الفصل المسبق للحفاظ على شكل حدود عمود المناجم .

ومن المناسب فى حالة حفر الآبار العريضة الإحتفاظ بمنسوب منخفض لمركز الحفر بالنسبة للمنطقة المحيطة به وبالتالى تتكون قواعد دائرية ينفجر منها الصخر نحو المركز ثم يزال ناتج الإنفجار .

وتوجد طرق فنية خاصة لتكسير الصخر بواسطة أجهزة تستخدم سائل ثانى أكسيد الكربون أو مفجرات هيدروليكية . كما يمكن إستخدام ما يسمى بالرماح الحرارية لعمل ثقوب متجاورة فى

الصخر بدون ضجيج أو إهتزازات ، ثم يشق الصخر بطول صف الثقوب إلى كتل ذات أبعاد مناسبة تمهيدا لرفعها من منطقة الحفر .

ويجب إستشارة خبير فى هذا المجال للوصول إلى أكفأ إستخدام للمتفجرات مع توفير الوقاية اللازمة للجمهور وحماية الممتلكات والإقلال من أية مضايقات .

ومن الواجب العناية بأمن العاملين والجمهور ومراعاة قواعد إستخدام المتفجرات عند تخزينها وتداولها وشحن الثقوب بها وعند توصيل وتفجير الشحنات .

كما يجب وضع غطاء من الشبك المصنوع من الأسلاك القوية أو الحبال المجدولة أو السلاسل على سطح الأرض فوق الشحنات لمنع الأضرار الناجمة عن تطاير الصخر وذلك فى الأماكن الضيقة أو المحبوسة . كما يجب توفير إشارات تحذير لكل العاملين والمارة فى منطقة التفجير مع التحكم فى مرور السيارات عند الضرورة .

### ٤/١٠/٩ إزالة الصخر المفكك

يتم إزالة الصخر المفكك عن طريق أدوات التكسير اليدوية أو الميكانيكية أو عن طريق المتفجرات بواسطة معدات نقل التربة العادية . ويرفع الصخر المفكك فى الخنادق بواسطة الحفارات العكسية أو اللوادر . ويزال فى حالة الآبار والأعمدة بواسطة الكباشات . أما فى مناطق الحفر الواسعة فيزال الصخر المفكك بواسطة البلدوزرات المناسبة مع وجود وسائل كفيلة بحماية العاملين من أى مواد تسقط أثناء الإزالة ، كما يمكن بدلا من ذلك إستخدام خط حفارات على قاعدة فوق القطع لإزالة الصخر المفكك .

### ١١/٩ نزح المياه الجوفية

يتناول هذا الجزء الأساليب المختلفة المتبعة فى أعمال التحكم فى المياه الجوفية وكذلك المقارنة بين الطرق المختلفة ومدى مواتمة كل طريقة لكل موقع.

### ١/١١/٩ معامل النفاذية

يعتمد التصميم المبدئى لنظام التحكم فى المياه الجوفية على معرفة قيمة معامل النفاذية لأنواع التربة المختلفة ، وفيما يلى الطرق التى تتبع لتعيين معامل النفاذية :

**الاختبارات الحقلية**

- عمل اختبارات الضخ الموقعى فى الخزان الجوفى.

الصخر بدون ضجيج أو إهتزازات ، ثم يشق الصخر بطول صف الثقوب إلى كتل ذات أبعاد مناسبة تمهيدا لرفعها من منطقة الحفر .

ويجب إستشارة خبير فى هذا المجال للوصول إلى أكفأ إستخدام للمتفجرات مع توفير الوقاية اللازمة للجمهور وحماية الممتلكات والإقلال من أية مضايقات .

ومن الواجب العناية بأمن العاملين والجمهور ومراعاة قواعد إستخدام المتفجرات عند تخزينها وتداولها وشحن الثقوب بها وعند توصيل وتفجير الشحنات .

كما يجب وضع غطاء من الشبك المصنوع من الأسلاك القوية أو الحبال المجدولة أو السلاسل على سطح الأرض فوق الشحنات لمنع الأضرار الناجمة عن تطاير الصخر وذلك فى الأماكن الضيقة أو المحبوسة . كما يجب توفير إشارات تحذير لكل العاملين والمارة فى منطقة التفجير مع التحكم فى مرور السيارات عند الضرورة .

### ٤/١٠/٩ إزالة الصخر المفكك

يتم إزالة الصخر المفكك عن طريق أدوات التكسير اليدوية أو الميكانيكية أو عن طريق المتفجرات بواسطة معدات نقل التربة العادية . ويرفع الصخر المفكك فى الخنادق بواسطة الحفارات العكسية أو اللوادر . ويزال فى حالة الآبار والأعمدة بواسطة الكباشات . أما فى مناطق الحفر الواسعة فيزال الصخر المفكك بواسطة البلدوزرات المناسبة مع وجود وسائل كفيلة بحماية العاملين من أى مواد تسقط أثناء الإزالة ، كما يمكن بدلا من ذلك إستخدام خط حفارات على قاعدة فوق القطع لإزالة الصخر المفكك .

### ١١/٩ نزح المياه الجوفية

يتناول هذا الجزء الأساليب المختلفة المتبعة فى أعمال التحكم فى المياه الجوفية وكذلك المقارنة بين الطرق المختلفة ومدى مواتمة كل طريقة لكل موقع.

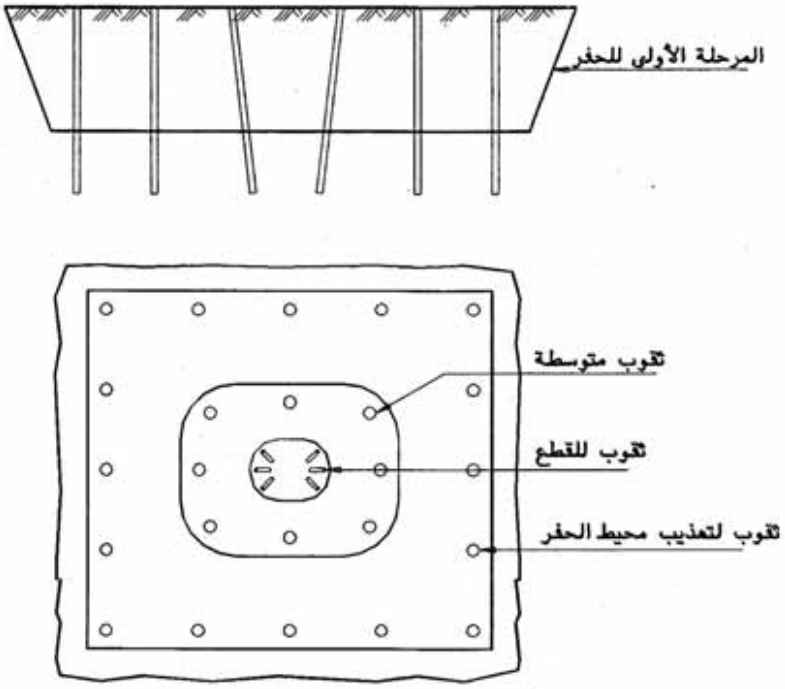
### ١/١١/٩ معامل النفاذية

يعتمد التصميم المبدئى لنظام التحكم فى المياه الجوفية على معرفة قيمة معامل النفاذية لأنواع التربة المختلفة ، وفيما يلى الطرق التى تتبع لتعيين معامل النفاذية :

**الاختبارات الحقلية**

- عمل اختبارات الضخ الموقعى فى الخزان الجوفى.

- عمل اختبارات إرتفاع وانخفاض منسوب المياه داخل الجسات.
- من حالات السريان المقاسه فى الآبار والبيزومترات.




**شكل (٩-١١) : الحفر فى الصخر بالثقب والتفجير فى الآبار**

**الاختبارات المعملية**

- من نتائج تجارب الايدوميتر أو اختبار الضغط ثلاثى المحاور(فى حالة التربة المتماسكة).
- باستخدام جهاز النفاذية ذو الارتفاع الثابت أو المتناقص.

**الطرق النظرية**

- من منحنيات التدرج الحبيبى على بعض عينات من التربة فى الخزان الجوفى.

والشكل رقم (٩-١١-١) يعطى قيم معامل النفاذية وخواص الصرف لأنواع التربة المختلفة.

## ٢/١١/٩ التحكم فى المياه الجوفية عن طريق نزح المياه

### ١/٢/١١/٩ مقدمة

لابد أن يبنى أى نظام لنزح المياه الجوفية على دراسة تفصيلية للموقع حتى يمكن تصميم الأعمال المؤقتة والدائمة باستخدام الإمكانات المتاحة لتحقيق أقصى فائدة اقتصادية، ويتم اختيار الطريقة المتبعة استناداً إلى الآتى :

١- خواص التربة مثل نفاذيتها وتتابع طبقاتها والتغيرات فى النفاذية خلال قطاع التربة.

٢- عمق الحفر تحت منسوب المياه الجوفية أو بالنسبة للضغوط البيزومترية للمياه فى الطبقات السفلى.

٣- مصدر المياه المطلوب نزحها وعمق الطبقة الحاملة للمياه.

٤- الطريقة المستخدمة لتدعيم جوانب الحفر.

٥- مدى ضرورة تأمين المنشآت والمرافق القائمة بجوار الحفر.

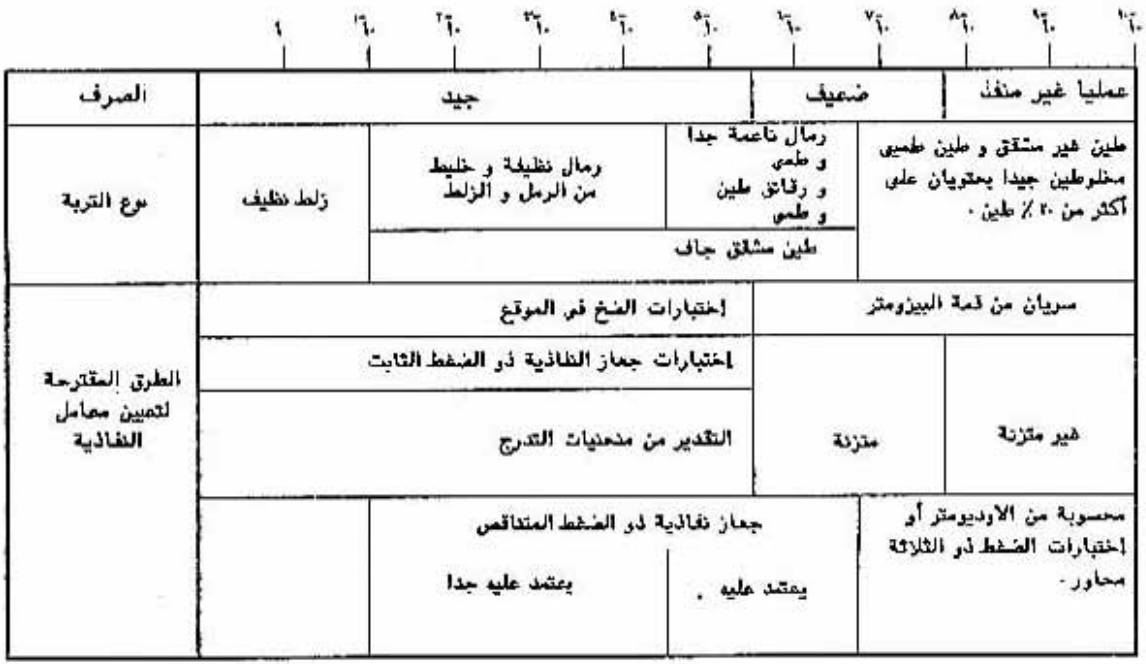
٦- نوعية المياه المطلوب نزحها ومدى قدرتها على مهاجمة الشبكة المعدنية للبئر مما يؤدى إلى صدئها أو حدوث انسداد بالفلتر نتيجة احتوائها على أملاح الكربونات أو أكاسيد حديدية.

٧- الأماكن التى سوف يتم صرف المياه إليها (مثل الترع ، المصارف ...).

وتقتضى الممارسة السليمة تحقيق الشروط التالية عند نزح المياه من الحفر :

١- منسوب المياه الجوفية المخفض لابد أن يبقى تحت السيطرة فى كل الأوقات متجنباً التذبذبات التى يمكن أن تؤثر على اتزان الحفر والإضرار بالمنشآت والمرافق المجاورة وقلقلة التربة عن قاع الحفر.

٢- عندما تكون الطبقة الحاملة للمياه المطلوب نزحها مكونة من مواد حبيبية رديئة التدرج وتحتوى على نسبة من المواد الناعمة التى يمكن سحبها أثناء أعمال النزح فإنه يلزم وضع مرشحات مناسبة حول بيارات السحب أو شبكة الآبار لضمان عدم سحب حبيبات التربة (خاصة التربة المكونة من حبيبات دقيقة) نتيجة لضخ المياه. ويفضل تجميع كمية من المياه المسحوبة فى خزان ترسيب لقياس كمية الحبيبات المترسبة بقاع الخزان نتيجة سحب حبيبات التربة أثناء النزح ، ويكتسب هذا الاختبار أهمية خاصة فى حالة مجاورة الموقع لمنشآت وخدمات يمكن أن تتأثر فى حالة حدوث فقد من التربة. ومن المفضل أن يتم إجراء




شكل (٩-١١-١) النفاذية وخواص الصرف للتربة

هذه الاختبارات بطريقة عشوائية للتحقق من أن المرشحات تعمل بصورة سليمة وان يتم تجنب الفقد الزائد للتربة نتيجة للتسرب من الجوانب أو من قاع الحفر.

٣- يجب التخلص من المياه المنزوحة إلى خارج منطقة الحفر.

٤- يجب ألا تؤدى طرق نزح المياه التى تم اختيارها لتخفيض منسوب المياه الجوفية إلى انضغاط سريع للتربة مما يؤدى إلى الإضرار بالمنشآت والمرافق المجاورة.

**٩/١١/٢/٢ نزح المياه من داخل الحفر (النزح السطحى)**

**٩/١١/٢/٢/أ الصرف بالجاذبية**

يمكن صرف المياه بالجاذبية الأرضية من داخل الحفر حيثما تسمح ظروف الموقع وهذا عادة ما يكون ممكناً فى موقع به ميل طبيعى حيث يمكن تجميع المياه السطحية إلى بيارة فى أحد أركان الجانب المنخفض من الحفر ، أو يمكن إنشاء مصرف يصرف بالجاذبية الأرضية إلى نقطة خارجية فى الجانب السفلى من الميل.

واحياناً يمكن صرف المياه السطحية من الحفر خلال مصارف رأسية منشأة بأسفلها لتوصيلها إلى الطبقات المنفذة السفلية وذلك حيث يعلو الحفر طبقة مسامية جافة أو طبقة تحوى ضغط بيزومترى أوطى من منسوب قاع الحفر.

**٩/١١/٢/٢/ب الضخ من داخل الحفر**

لقد كانت العادة لفترات طويلة أن يتم الضخ من خلال بيارات داخل حدود الحفر، وفى حالة نزح كميات كبيرة من المياه فمن الأنسب تنفيذ البيارة خارج حدود الحفر. كما أن تنفيذ البيارة خارج حدود الحفر يؤدى إلى تجنب خطورة نحر التربة عند قاع الحفر. ويجب أن تنفذ البيارات إلى العمق اللازم قبل البدء فى أعمال الحفر ، ويفضل وجود بيارتين على الأقل ، كما يجب أن تخطط قنوات الصرف المؤدية إلى البيارات بعناية حتى تضمن نزح المياه من داخل الموقع. وتعتبر صيانة قنوات الصرف مهمة جداً. كما أن عمق وانحدار القنوات لابد وأن يكون كافياً لتجنب ترسيب التربة المحمولة إليها. كما يجب ألا تكون القنوات منحدرة لدرجة تحدث بها نحراً. وقد يكون مناسباً تغليف قنوات الصرف باستخدام وصلات من المواسير الفخار المحاطة بمرشح من الزلط والرمل المتدرج طبقاً لطبيعة التربة.

٩/١١/٢/٢/(ب-١) الضخ من الحفر المكون بأسطح مائلة

فى حالة الحفر فى تكوينات صخرية منتظمة تتسرب المياه الجوفية إلى داخل الحفر ، حيث يمكن تجميعها بقنوات صرف وتوجيهها إلى بيارة بدون متاعب ناشئة من عدم ثبات السطح. وحين تكون أسطح الحفر فى تربة منفذة فقد تكون سرعة المياه الجوفية إلى داخل الحفر كافية لتسبب حركة لحبيبات التربة ويتبعها إنهيار الجوانب (شكل ٩-١١-٢). ولتجنب هذه المتاعب فيجب قطع سطح الحفر على ميل مناسب متزن (شكل ٩-١١-٣) ثم يخفض منسوب المياه بالضخ . ويمكن منع المياه الخارجة من إحداث أضرار بالغة بتغطية المساحة المتأثرة بجوار القدمة بمرشح من الزلط أو الأحجار ، وكبديل لذلك يمكن تبطين السطح بالخشب مع عمل فواصل صغيرة بين الألواح ليتكون مرشح طبيعى عند الفواصل بين الألواح. وإذا لم يتكون مرشح طبيعى تلقائياً خلف هذه الفواصل فيمكن وضع مرشح من القش أو التبن خلف الأخشاب عند الفواصل. وبالإضافة إلى منع النحر السطحى بتزويد الحفر بمرشحات يجب التأكد من أن قوى التسرب الداخلية غير كافية لتعريض اتزان الميل للخطر.

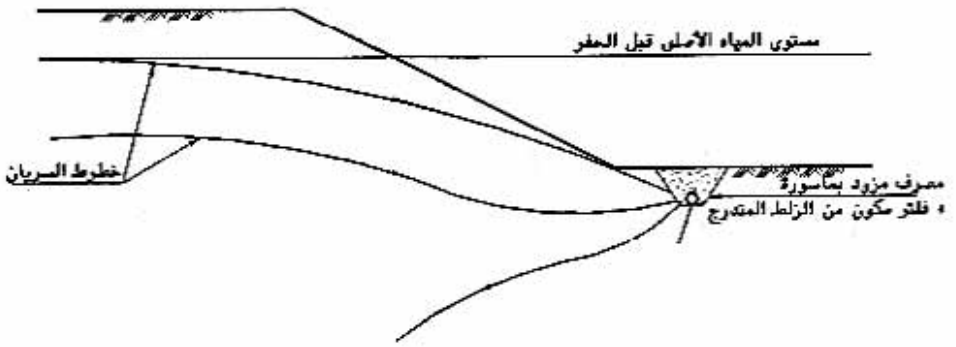
٩/١١/٢/٢/(ب-٢) السحب من السدود المحيطة

إذا أمكن إقامة سد محيط من الستائر اللوحية المترابطة أو فى صورة حوائط غير منفذة منشأة بالموقع تصل إلى طبقة سفلية سميكة غير منفذة للمياه ، فإن سريان المياه إلى الطبقة الغير منفذه يكون مقطوعاً كلية ويكون نزح المياه من المساحة المحصورة بالسد سهل وبسيط.

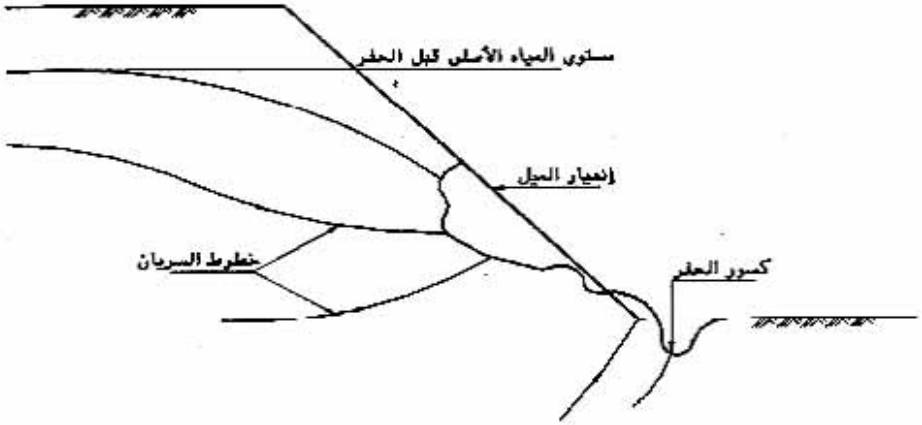
وإذا وجدت طبقة رقيقة غير منفذة فى قاع الحفر تليها طبقات منفذة تكون هناك خطورة الدفع العلوى لقاع الحفر نتيجة لضغط المياه فى الطبقات المنفذه الأعمق. وفى هذه الحالة ، تكون هناك حاجة للتخلص من ضغط المياه أسفل الطبقة الغير منفذه. ويمكن تحقيق ذلك بالضخ من آبار بداخل أو خارج السد المحيط.

وإذا وجدت طبقة رقيقة غير منفذة فى قاع الحفر تليها طبقات منفذة تكون هناك خطورة الدفع العلوى لقاع الحفر نتيجة لضغط المياه فى الطبقات المنفذه الأعمق. وفى هذه الحالة ، تكون هناك حاجة للتخلص من ضغط المياه أسفل الطبقة الغير منفذه. ويمكن تحقيق ذلك بالضخ من آبار بداخل أو خارج السد المحيط.

أما إذا لم يكن الوصول إلى طبقة غير منفذه بواسطة حوائط السد اقتصادياً ، فإنه يمكن نزح المياه من داخل الحفر باستخدام بيارات داخلية آخذين فى الاعتبار أن الانحدار الهيدروليكى من أسفل




شكل (٩-١١-٢) إنهيار بسبب التسرب من المنحدرات شديدة الميل




شكل (٩-١١-٣) حفر ثابتة الميل ناتجة من سطح مستوى وخندق صرف عميق إحتياطى

إلى أعلى يمكن حفظه منخفضاً بدرجة كافية لتأمين اتزان قاع الحفر وقدمة الستائر القاطعة.
ويمكن تخفيض قيمة الضغط الهيدروليكى بإتباع الوسائل الآتية :

١- إطالة مسار التسريب بزيادة طول اختراق حوائط السد للتربة أسفل منسوب قاع الحفر.

٢- تخفيض قيمة ضاغط المياه السارية فى اتجاه الحفر بالضخ من آبار خارج حوائط السد.

### ٩/١١/٢/٣ نزح المياه الجوفية باستخدام نظام مسبق

الهدف من استخدام نظام مسبق لنزح المياه الجوفية هو تخفيض منسوب المياه الجوفية بمسطح الحفر حتى أسفل منسوب قاع الحفر وذلك قبل البدء فى الحفر ، وبذلك يمكن تنفيذ أعمال الحفر بالكامل على النائف. واستخدام أحد الأنظمة المسبقة لنزح المياه الجوفية يؤدى إلى سريان المياه إلى خارج مساحة الحفر مما يحسن من اتزان الجوانب والقاع. والطرق المستخدمة لتخفيض منسوب المياه الجوفية خارج الحفر يمكن تلخيصها فى الآتى :

١- عدد من نقاط الآبار صغيرة القطر (نظام حراب النزح).

٢- أعداد من الآبار المزودة بطلمبات مستقلة أو مشتركة عند السطح (نظام الآبار الضحلة).

٣- أعداد من الآبار المزودة بطلمبات مستقلة غاطسة فى كل بئر (نظام الآبار العميقة).

٤- أنظمة آبار تفريغ.

وفى كل الطرق يجب عدم فقدان أو قلقلة التربة وذلك باستخدام المرشحات.

وتتوقف كمية المياه المسحوبة على المنسوب الذى ستخفض إليه المياه مباشرة بخارج مصافى البئر وعلى تصف قطر البئر وعلى نفاذية التربة. وينتج عن الضخ من البئر أن يأخذ منسوب الماء الحر حول البئر شكل مخروط معكوس معروف باسم مخروط الانخفاض. وعندما تضخ المياه فى نفس الوقت من عدد من الآبار تتقاطع مخاريط الانخفاض لكل منها.

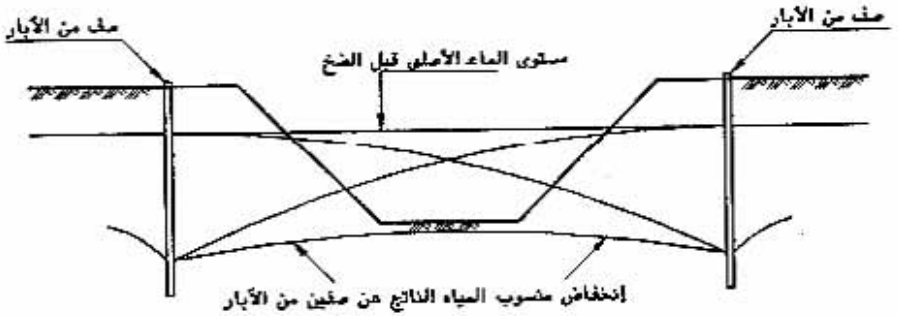
ويتوقف الخفض فى منسوب سطح الماء فى الحفر المحصور (شكل رقم ٩-١١-٤) على البعد بين الآبار وحجمها كما يتوقف على الخفض فى مستوى الماء للبئر. ومن تقاطع مخاريط الهبوط للآبار تكون المياه المسحوبة أقل منها فى حالة بئر مفرد منعزل له نفس التخفيض فى منسوب المياه.

### ٩/١١/٢/٣/أ نظام آبار الترشيح (حراب النزح)

بئر الترشيح (أو حربة النزح) تستخدم كبئر صغير يمكن بسهولة تركيبه فى الأرض وسحبه منها. ويتكون عادة من ماسورة طويلة من الصلب بقطر ٥٠ مم (٢بوصة) تنتهى بطول مخرم عند نهايتها. وفى آخر الماسورة توجد فتحة تسمح للمياه بالاندفاع منها لأسفل فى الأرض أثناء تركيبها داخل التربة فتؤدى إلى تفكك الحبيبات وتسمح للماسورة بالنزول ، وعند تشغيل حراب النزح تدخل المياه إليها خلال الجزء المخرم من الماسورة وليس خلال فتحة النهاية التى تغلق لمنع

دخول التربة بواسطة صمام ذو اتجاه واحد ، ويغطى الطول المخرم من الماسورة بشبكة رقيقة معدنية لمنع دخول حبيبات التربة الناعمة إليها.

وعند إنزال حراب النزح يدفع المياه فى التربة تخفض ضغوط المياه عند الاقتراب من العمق النهائى لها ، كما يمكن تنزيل حراب النزح بطريقة الحفر المسبق وفيها يتم عمل حفر داخل التربة




**شكل (٩-١١-٤): تخفيض مناسيب المياه بواسطة الآبار**

ويتم إنزال حراب النزح داخلها مع ملأ الفراغ بين الحراب والتربة بمرشح زلطى يتم تصميمه كما هو موضح بالبند ٣/٢/١١/٩/ز. وفى بعض أنواع التربة الزلطية والرملية لا توجد ضرورة لتكوين المرشح الخارجى المحيط ببئر الترشيح. وتتوقف المسافات بين الآبار على نفاذية التربة ، فالتربة عالية النفاذية تحتاج إلى مسافات بينية صغيره (مثلاً ٠,٥ متر) ، بينما يمكن استخدام مسافات أكبر من ٠,٧٥ متر إلى ١,٥٠ متر للرمال الناعمة والرمال الطمية.

ويتميز نظام آبار الترشيح بأنه اقتصادى ويمكن تركيبه بسرعة كما يمكن نقله بسرعة من مكان لأخر وهو مناسب لأعمال الخنادق ، وفى حالة الخنادق الضيقة يمكن غالباً الاكتفاء بصف واحد من آبار الترشيح على امتداد أحد جوانب الخندق. أما فى الخنادق الأكثر عرضاً فيستخدم صفين متوازيين من الآبار. ويتم إنزال الآبار قبل البدء فى حفر الخندق كما يتم سحبها عقب الانتهاء من إعادة الردم. وتجرى عمليات إنزال الآبار قبل الحفر ، وضخ المياه من آبار الترشيح وسحبها بعد عمليات إعادة الردم بالتتابع على امتداد الخندق مع تقدم الحفر. ومن عيوب هذا النظام العمق

المحدود لخفض منسوب المياه الجوفية مما قد يستدعى مرحلتين أو أكثر للحفر العميق وأيضاً صعوبة إنزال آبار الترشيح فى الأراضى المحتوية على زلط أو أحجار ، وعدم التحكم فى وضع المرشح حول آبار الترشيح ، والقلقله التى قد تحدث فى التربة خلال عملية إنزال الآبار بضغط المياه. وإذا لم تتكون المرشحات المحيطة بالآبار بصورة سليمة فإن طبقات التربة الغير منفذه قد تمنع المياه الموجودة فى الطبقات المنفذه والحاملة للمياه والغير متصلة مباشرة بالمرشح من الوصول إلى الآبار.

**٩/١١/٢/٣/ب نظام آبار ضحلة بطلمبة مشتركة**

تحفر هذه الآبار عادة بقطر ٣٠٠ مم (١٢ بوصة) أو أكثر وحتى عمق ١٠,٠ متر تحت محور الطلمبه مع التحقق من أن ماسورة المص تكون دائمة مغمورة وتنزل فى ثقب الحفر مواسير مصافى مخرمة ذات قطر ١٥٠ مم (٦ بوصة) مغطاة بسلك شبكى وتكون نهاية الماسورة السفلية غير مخرمة لعدة أقدام وتسد نهايتها لاصطياد حبيبات التربة الناعمة التى قد تمر فى البداية من المرشح. ويلزم وضع مرشح من الزلط والرمل المتدرج الذى يتناسب مع التوزيع الحبيبى للتربة بعناية فى الفراغ بين مواسير المصافى وماسورة تغليف الحفر الأساسى أثناء عمليات سحبها تدريجياً وبهذه الطريقة يحيط المرشح الزلطى بمواسير المصافى بكامل عمق ثقب الحفر والذى يتم تخفيض منسوب المياه الجوفية فى حدوده. وبعد غسيل المرشحات والتخلص من أى مواد ناعمة أو رواسب من الحفر ، يتم إنزال ماسورة المص داخل مواسير المصافى وتوصيلها بماسورة المص الرئيسية العليا المتصلة بالتالى بطلمبة ذاتية التحضير. كما يمكن أن يكون لكل بئر طلمبته الخاصة ذاتية التحضير ويتميز نظام الآبار الضحلة بإمكان إزالة أى عوائق فى التربة إثناء عمليات التثقيب وعمل أى تعديلات فى المرشحات أو توزيع الآبار كما أنه نظراً لقلة عدد الآبار وزيادة المسافات بينها عنها فى حالة نظام آبار الترشيح فتكون القلقله الممكن حدوثها للأرض أقل. ومع ذلك فهذا النظام أكثر تكلفة ويستغرق وقتاً أطول فى تركيبه عن نظام آبار الترشيح ويزيد فى هذا النظام عمل تخفيض مستوى الماء عنه فى حالة آبار الترشيح ولو أنه لازال محدوداً بأقصى عمود مص للطلمبات مما يستدعى الإحتياج إلى عمل عدة مراحل فى حالات الحفر العميق.

### ٩/١١/٢/٣/ج نظام الآبار العميقة

يصمم هذا النظام للاستخدام فى الحفر العميق عندما يكون العمق كبيراً لا يسمح باستخدام طلمبات السحب. وفى هذا النظام يجرى حفر آبار حتى العمق المطلوب بقطر يسمح بإنزال الطلمبات الغاطسة بداخل مواسير التغليف والمصافى التى يصير إنزالها فى ثقب الحفر محاطة بطبقة أو أكثر من المرشحات الزلطية ويسمى تزويد كل بئر بطلمبة خاصة به.

### ٩/١١/٢/٣/د التكوينات المرحلية

إذا كان الحفر سينفذ لعمق يزيد عن منسوب مستوى الماء الأرضى المخفض عن طريق آبار الترشيح أو آبار ضحلة باستخدام طلمبات على مستوى الأرض ، فيمكن تركيب مرحلة أو أكثر على أعماق أكبر لتحقيق التخفيض المطلوب لمستوى الماء الأرضى كما هو مبين فى شكل رقم (٩-١١-٥) ويمكن زيادة التخفيض المؤثر للمرحلة الأولى بواسطة الحفر حتى المنسوب الطبيعى للماء الأرضى قبل تركيب النظام ، كما هو مبين بالشكل رقم (٩-١١-٦).

### ٩/١١/٢/٣/هـ بعض الاحتياطات

لابد من عمل ازدواج لوحدات الضخ عند استخدام أنظمة آبار الترشيح أو الآبار الضحلة أو الآبار العميقة فى جميع الحالات التى قد يسبب فيها عطل الوحدات تأخيرات مكلفة فى الإنشاء أو الإضرار بالأعمال المنتهية جزئياً. وكما ذكر سابقاً ، فالطلمبات الاحتياطية يمكن الاستفادة منها فى المراحل الأولى لتخفيض مستوى الماء الأرضى عندما تكون كميات المياه المطلوب نزحها أقصى ما يمكن. وعندما تستخدم طلمبات كهربائية فمن الأفضل التحقق من وجود مصدر احتياطى للطاقة الكهربائية المطلوبة.

ولابد من عمل قياسات منتظمة لمنسوب مستوى الماء الأرضى حول الحفر ولضغوط المياه فى بيزومترات موضوعه فى أماكن مختلفة فى الطبقات الحاملة للمياه التى تؤثر على اتزان الحفر أو المنشآت المنتهية جزئياً أو المنشآت والمرافق المجاورة.

وعند السماح للماء الأرضى بالعودة إلى منسوبه الأصلى فلابد من الحذر بأن يتم ذلك ببطء قدر الإمكان وذلك بالإغلاق التدريجى للآبار أو لآبار الترشيح. فحدوث إغلاق سريع أو مفاجئ للآبار قد يسبب انهيار شديد لجوانب الحفر العميق أو يسبب انهيارا فى التربة ذات التكوين الحساس كالرمال المفككة. وعند إنشاء بدرومات أو خزانات فى مياه عميقة فقد يحدث طفو للمنشآت عند

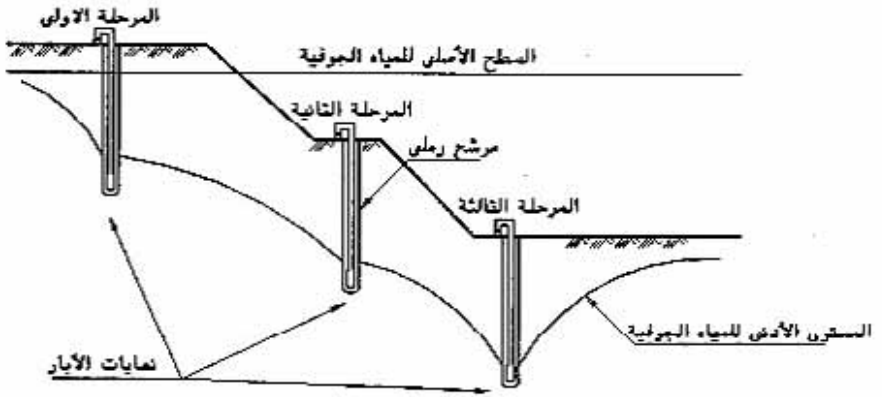
حدوث عطل فى الطلمبات ، ولذلك يحسن عمل نظام صرف فى قاع المنشأ ليسمح لمياه التوازن بالدخول مع ارتفاع منسوب المياه الجوفية ومنع حدوث ضغوط زائدة خارجية أو حدوث طفو.

**٩/١١/٢/٣/و هبوط الأرض أثناء تخفيض منسوب المياه الجوفية**

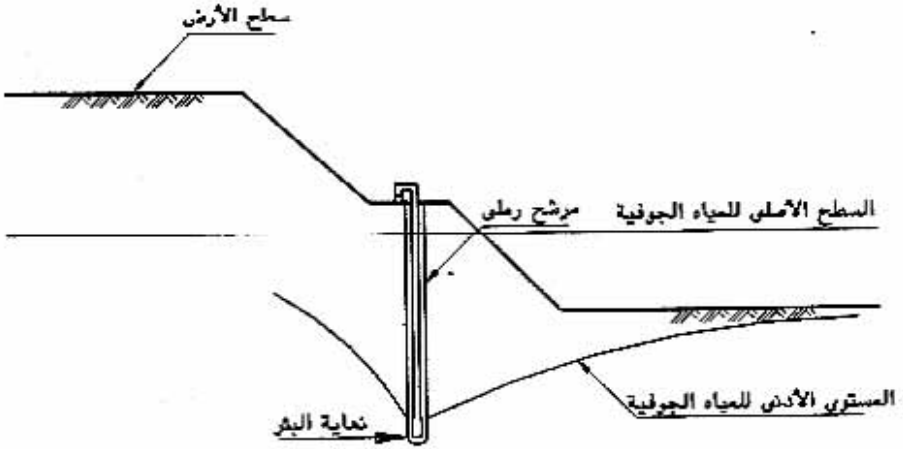
عندما تعلو تربة قابلة للانضغاط مشبعة جزئياً أو كلياً طبقة حاملة للمياه مطلوب تخفيض منسوب المياه فيها. وتعجل عملية سحب المياه من التربة العليا بانضغاط التربة القابلة للانضغاط. وقد يكون هذا الانضغاط منتظماً أو غير منتظم وقد يؤدى إلى هبوط المنشآت القائمة على هذه الأرض. ومن المهم عمل مسح لأية منشآت قد تتأثر بتخفيض المياه الجوفية. وفى حالات خاصة يمكن تغذية الطبقة الحاملة للمياه على مسافة من العمل، ومن ثم يقل أثر عمليات نزح المياه على الأراضى المحيطة.

وغالباً يمكن تأمين المبانى والمنشآت الحساسة ضد الحركة بعمل تدعيم لأساساتها أو بحقن مناسب للتربة تحت المبانى فى الأراضى المجاورة مما يقلل تأثير عملية نزح المياه.

ومن الضرورى عمل تقدير لامتداد فترة نزح المياه لتأكيد القيمة المتوقعة للهبوط الذى قد يحدث.




**شكل( ٩-١١-٥): نظام الآبار المتعددة المراحل للحفر العميق**




**شكل( ٩-١١-٦): تخفيض منسوب سطح الأرض قبل إنشاء نظام الآبار**

**٩/١١/٢/٣/ز تصميم المرشحات**

المرشحات المستخدمة لإحاطة المواسير الداخلية فى أنظمة الآبار الضحلة أو الآبار العميقة أو المحيطة ببيارات أو بمواسير الصرف أو المستخدمة كستائر للتحكم فى التسرب ، لابد من تصميمها لتتلاءم مع تدرج التربة المحيطة بها.

وفيما يلى قواعد التصميم الشائعة الاستخدام :

١- قطر الـ ١٥% للمرشح يجب أن لا تزيد عن أربعة أضعاف قطر الـ ٨٥% للتربة الطبيعية المحيطة بالمرشح (المواد المراد حمايتها) كما هو موضح بالنقطة (أ) فى الشكل رقم (٩-١١-٧).

٢- قطر الـ ١٥% للمرشح يجب أن لا يقل عن أربعة أضعاف قطر الـ ١٥% للمواد المراد حمايتها (النقطة (ب) فى الشكل رقم ٩-١١-٧).

٣- يجب ألا تحوى المرشحات أكثر من ٥% من المواد التىتمر من المنخل القياسى البريطانى (منخل رقم ٢٠٠) بفتحة ٧٥ ميكرون (النقطة (ج) فى الشكل رقم ٩-١١-٧) وأن تكون هذه المواد عديمة التماسك (طمى) وعندما يقل القطر المعطى بالقاعدة (٢) عن المعطى بالقاعدة (٣) فيجب تطبيق الأخيرة (كما فى الشكل رقم ٩-١١-٧).

٤- يجب أن يتبع منحنى التدرج لمواد المرشح بقدر الإمكان نفس شكل منحنى التدرج للمواد المراد حمايتها.

٥- عندما تحتوى المواد المراد حمايتها على نسبة عالية من الزلط أو المواد الأكثر خشونة فيجب أن يصمم المرشح على أساس التدرج للجزء من المواد المراد حمايتها الأقل فى القطر عن منخل ١٩ مم (٤/٣ بوصة).

٦- عندما توجد فجوة فى التدرج الحبيبى للتربة (مثلاً رمل ناعم طميى مع بعض الزلط) فلن تتمكن الحبيبات الخشنة من منع الحبيبات الناعمة من الهجرة خلال المسافات البينية الكبيرة لحبيبات المرشح إذا ما كان الأخير قد صمم على أساس منحنى التدرج الكلى للتربة ، وعلى ذلك فيجب إهمال حبيبات التربة الخشنة ويتم اختيار الأقطار المحدده للمرشح على أساس منحنى التدرج للتربة الناعمة فقط.

٧- عندما يوضع المرشح فى مواجهة تربة متغيرة فيجب أن يصمم المرشح لحماية أنعم تربة عادةً والقاعدة (١) يجب أن تطبق على أنعم تربة والقاعدة (٢) على أخشنها.

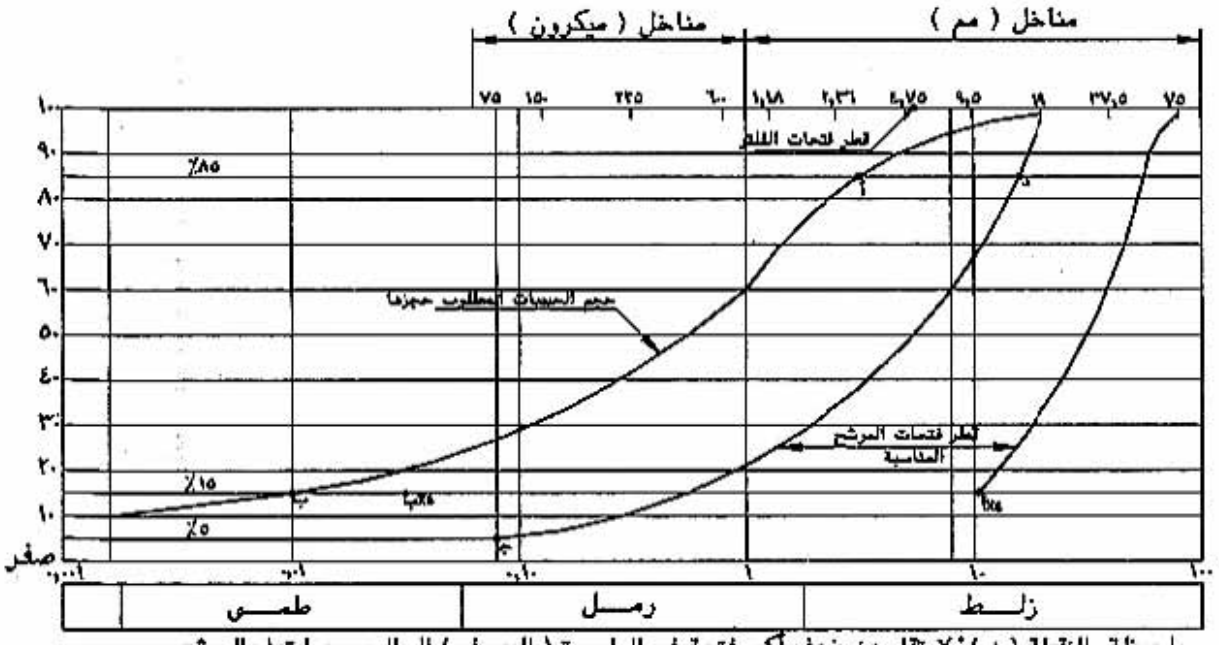
٨- يجب أن تكون مواد المرشح حسنة التدرج لتجنب الانفصال أثناء وضعها.

٩- أقصى قطر لمواد المرشح يجب أن لا يزيد عن ٧٥ مم (حوالى ٣ بوصة).

١٠- عندما تكون المواسير مدفونة فى المرشحات والمصارف ، فيجب ألا تكون مواد المرشح الملاصقة للماسورة ناعمة للدرجة التى تمكنها من الدخول فى الوصلات أو الثقوب الموجودة بالماسورة ، ومن القواعد كثيرة الاستعمال ألا يقل قطر الـ ٨٥% للمرشح عن ضعف أكبر فتحة فى الماسورة أو الوصلة (النقطة (د) فى الشكل رقم ٩-١١-٧).

١١- فى حالات التربة الناعمة قد يكون ضرورياً استخدام مرشحات متعددة المراحل لضمان ثبات المرشح ضد اندفاع هذه التربة. وتستخدم القواعد السابقة فى تصميم هذه المراحل.

وفى التطبيقات العملية قد يستخدم المهندس حكمه الشخصى ويقبل مرشحات ذات تدرج أخشن بعض الشئ عما تعطيه القواعد السابقة. واستخدام مرشحات ذات تدرج أخشن ينتج عنه بعض الفقد للتربة خلالها أثناء المراحل الأولى للسحب وحتى تعدل حبيبات التربة ترتيبها لتعمل كمرشح متصل.




ملحوظة النقطة ( د ): لا تقل عن ضعف أكبر فتحة فى الماسورة ( المصرف ) المطلوب حمايتها بالمرشح

**شكل (٩-١١-٧) توضيح قوانين المرشحات**

**٩/١١/٢/٣/ح تنمية الآبار**

تتم عملية تنمية الأبار عن طريق الآتى :

١- خلخلة الهواء والامتصاص ثم متابعة عملية الضخ والامتصاص على مستويات متعددة خلال عمق شبكة البئر بمعدل ضخ يساوى الحد الأقصى. ويجب أن يتم ذلك بحيث لا يحدث هبوط أو قلقلة للطبقات الحاملة للمياه والطبقات التى تعلوها.

٢- قياس عمق البئر لأقرب ٠,١ متر قبل وبعد عملية التنمية وإذا أوضحت عملية القياس اختلاف فى عمق البئر يزيد عن ١,٠ متر فيجب تنظيف قاع البئر العميق الأصلى عن طريق خلخلة الهواء.

٣- تستمر عملية التنمية للبئر حتى يصبح الماء الناتج من عملية الضخ الأقصى خالى من مكونات التربة.

**٩/١١/٢/٣/ط اختبار الضخ**

يجب إجراء اختبار الضخ لتحقيق الأهداف التالية :

١- تحديد شكل مخروط السحب وكذلك معامل اللفانية للتحقق من التصرف المطلوب.

٢- التخلص من الرمال الناعمة وتحقيق استقرار المرشح حول شبكة البئر.

٣- التحقق من كفاءة البئر تحت معدلات ضخ مختلفة على المدى القصير عن طريق الضخ بمعدلات مختلفة تصل إلى أقصى تصرف مطلوب وذلك لمدة ساعتين.

٤- اختبار ضخ الخزان الجوفى وذلك يشمل استمرار الضخ تحت الحد الأقصى لمدة يومين.

ويجب ان تكون طلمبات الضخ قادرة على القيام بأعمال الضخ المطلوبة والمحافظة على استقرار معدلات الضخ مع اختلاف أعماق المياه بحيث لا يزيد تغير معدل الضخ مع اختلاف أعماق المياه عن ٥% من أقصى تصرف مطلوب خلال فترة الاختبار كما يجب استخدام جهاز معاير لقياس سرعة تدفق المياه مع ضرورة وجود منحنى المعايرة للتأكد من الحصول على قياسات التصرف المطلوبة بدقة.

**٩/١١/٢/٣/ك التحليل الكيميائى للمياه**

١- يتم اخذ العينات اللازمة للتحليل الكيميائى خلال الساعة الأخيرة من اختبار ضخ الخزان الجوفى.

٢- يجب العناية بحفظ عينات المياه والمحافظة عليها من حدوث أى تلوث لمكوناتها أو تغيير فى خواصها الطبيعية.

٣- يجب أن يشمل اختبار التحليل الكيميائى للمياه تحديد نسب الكالسيوم - الماغنسيوم - الصوديوم - الكلوريدات - حمض الكربونيك - الكبريتات - الفلوريدات - السليكا - الحديد - المواد الصلبة (بواسطة التبخير). كما يجب تحديد معامل التوصيل الكهربى (عند ٢٥ درجة مئوية) والرقم الهيدروجينى والعسر الكلى والأمونيا الحرة والبكتريا الكلورفيلية وتحديد المذاق ومؤشر لانجليز للتآكل.

### ٣/١١/٩ التحكم فى المياه الجوفية باستخدام الهواء المضغوط

#### ١/٣/١١/٩ مقدمه

عند إمكان القيام بأعمال الحفر فى الأراضى الحاملة للمياه بداخل حيز محصور كبيارة مثلاً ، فمن الممكن التحكم فى المياه الجوفية عن طريق زيادة قيمة ضغط الهواء بداخل هذا الحيز مما يؤدى إلى دفع المياه للخارج.

ويمكن استخدام هذا الأسلوب فى أى نطاق محصور مثل الأنفاق والقيسونات والسدود المحيطة والتى يسمح تصميمها بحصر الهواء ويمكنها تحمل الضغوط بينما تسمح للهواء بالهروب فقط خلال قاع الحفر. واستخدام الهواء المضغوط هو أسلوب تقليدى فى أعمال الإنشاءات تحت الأرض وخاصة عندما تكون ظروف التربة صعبة. وكان لهذا الأسلوب قيمة خاصة فى أعمال الأنفاق والقيسونات وتغطيس الدعامات ذات الأقطار الكبيرة لأساسات الكبارى.

وهناك بعض الحالات التى تجمع بين استخدام الهواء المضغوط والطرق الأخرى المتبعه فمثلاً قد يكون من المفيد إنقاص قيمة ضغط الهواء بالحجرة بتخفيض منسوب المياه الجوفية بالأرض المحيطة ، كما يمكن فى حالات أخرى تجنب الفقد الزائد للهواء خلال السطح المراد حفره بمعالجة الأرض قبل البدء فى أعمال الحفر.

واستخدام الهواء المضغوط له قيوده ، فبالأخص عند رفع ضغط المياه ليتزن مع الضاغط المائى المتزايد ، تزداد المخاطر الصحية للعاملين فى حجرة الضغط. ويجب إتباع احتياطات خاصة كوضع الضوابط المحكمة للفترات اللازمة لتخفيض الضغط حول الأفراد بعد العمل ومداومة الملاحظة الصحية عليهم.

٢- يجب العناية بحفظ عينات المياه والمحافظة عليها من حدوث أى تلوث لمكوناتها أو تغيير فى خواصها الطبيعية.

٣- يجب أن يشمل اختبار التحليل الكيميائى للمياه تحديد نسب الكالسيوم - الماغنسيوم - الصوديوم - الكلوريدات - حمض الكربونيك - الكبريتات - الفلوريدات - السليكا - الحديد - المواد الصلبة (بواسطة التبخير). كما يجب تحديد معامل التوصيل الكهربى (عند ٢٥ درجة مئوية) والرقم الهيدروجينى والعسر الكلى والأمونيا الحرة والبكتريا الكلورفيلية وتحديد المذاق ومؤشر لانجليز للتآكل.

### ٣/١١/٩ التحكم فى المياه الجوفية باستخدام الهواء المضغوط

#### ١/٣/١١/٩ مقدمه

عند إمكان القيام بأعمال الحفر فى الأراضى الحاملة للمياه بداخل حيز محصور كبيارة مثلاً ، فمن الممكن التحكم فى المياه الجوفية عن طريق زيادة قيمة ضغط الهواء بداخل هذا الحيز مما يؤدى إلى دفع المياه للخارج.

ويمكن استخدام هذا الأسلوب فى أى نطاق محصور مثل الأنفاق والقيسونات والسدود المحيطة والتى يسمح تصميمها بحصر الهواء ويمكنها تحمل الضغوط بينما تسمح للهواء بالهروب فقط خلال قاع الحفر. واستخدام الهواء المضغوط هو أسلوب تقليدى فى أعمال الإنشاءات تحت الأرض وخاصة عندما تكون ظروف التربة صعبة. وكان لهذا الأسلوب قيمة خاصة فى أعمال الأنفاق والقيسونات وتغطيس الدعامات ذات الأقطار الكبيرة لأساسات الكبارى.

وهناك بعض الحالات التى تجمع بين استخدام الهواء المضغوط والطرق الأخرى المتبعه فمثلاً قد يكون من المفيد إنقاص قيمة ضغط الهواء بالحجرة بتخفيض منسوب المياه الجوفية بالأرض المحيطة ، كما يمكن فى حالات أخرى تجنب الفقد الزائد للهواء خلال السطح المراد حفره بمعالجة الأرض قبل البدء فى أعمال الحفر.

واستخدام الهواء المضغوط له قيوده ، فبالأخص عند رفع ضغط المياه ليتزن مع الضاغط المائى المتزايد ، تزداد المخاطر الصحية للعاملين فى حجرة الضغط. ويجب إتباع احتياطات خاصة كوضع الضوابط المحكمة للفترات اللازمة لتخفيض الضغط حول الأفراد بعد العمل ومداومة الملاحظة الصحية عليهم.

**٩/١١/٣/٢ القواعد المطبقة للعمل فى الهواء المضغوط**

أظهرت الخبرة ضرورة وضع القيود على الفترات الزمنية للعمل فى الهواء المضغوط فالأشخاص الذين لم يتعرضوا للعمل فى هذا المجال حديثاً يجب ألا يسمح لهم بالعمل فى الورديات الأولى لأكثر من أربع ساعات تحت الضغط. كما يجب عدم تعرض العاملين الجدد لضغط الهواء إلا بعد إجراء الفحوص الطبية عليهم.

**٩/١١/٣/٣ تصميم وتشغيل تجهيزات الهواء المضغوط**

يجب تصميم وتشغيل تجهيزات الهواء المضغوط تحت إشراف مهندس مؤهل وذى خبرة فى استخدام الهواء المضغوط فى أعمال الهندسة المدنية ، ويجب مراعاة ما يأتى :

١- وجود تجهيزات احتياطية مناسبة للاستخدام الفورى لضمان حفظ ضغط الهواء والخدمات الضرورية عند حدوث عطل فى المصدر العادى للطاقة أو لتعويض أى فقد للهواء.

٢- فى بعض الحالات التى تكون فيها الأرض متماسكة والتى يستخدم فيها ضغط الهواء للتخلص من المياه الجوفية فيمكن الاستغناء عن التجهيزات الاحتياطية فى حالة التأكد من أنه عند حدوث عطل فى مصدر الطاقة يوجد وقت كافى لإخراج العاملين من مناطق عملهم قبل أن تمتلئ بالمياه.

٣- توافر مستوى إضاءة مناسب للعاملين كما يجب وجود دائرة إضاءة احتياطية للطوارئ تستمد طاقتها من مصدر مستقل كمجموعة من بطاريات أو مولد طوارئ.

٤- يمنع التدخين فى الهواء المضغوط كما يجب تحذير العاملين فى الهواء المضغوط من المخاطر الزائدة للحريق فى هذه الظروف نتيجة لزيادة تركيز الأكسجين. كما يجب معالجة الأخشاب المستخدمة فى هذه الأعمال بحيث تكون غير قابلة للاحتراق كما يجب تزويد مناطق العمل بالاحتياطات اللازمة لمقاومة أى حريق يحدث فيها.

٥- تحدد أقل كمية هواء نقى لازمة لكل شخص بمقدار ٠,٣ م$^{٣}$/دقيقة تحت الضغط المعرض له فى حجرة العمل وليس تحت الضغط الجوى ويجب توفير هذه الكميات من الهواء النقى للعاملين فى كل الظروف. كما يجب التأكد من عدم حدوث أى تلوث ضار للهواء خلال عملية الحفر واتصال الهواء بالتربة أو سريانه فيها.

٦- يجب توافر وسائل صعود العاملين إلى السطح بسهولة - كما يجب توافر جهاز إنذار مناسب وكذلك جهاز اتصال صوتى بين العاملين والسطح.

٧- لابد من توافر ظروف عمل جيدة للعاملين وكذلك توفير الأجهزة والمعدات الطبية بالموقع فى كل الأوقات – وتوفير المياه وأجهزة تجفيف الملابس، وكذلك تدفئة حجرات الضغط وتهويتها.

### ٤/٣/١١/٩ أثر طبيعة التربة على استخدام الهواء المضغوط

لابد من إجراء دراسة تفصيلية لطبيعة التربة التى تؤثر على استخدام الهواء المضغوط خلال المناطق التى سيصير فيها التنفيذ ، ففى الأنفاق لابد من التعرف على طبيعة الطبقات التى تعلو السطح العلوى للنفق وارتباطها بالمنطقة المحيطة كما يجب التعرف بدقة على ظروف المياه فيها حيث أنها تحدد ضغط الهواء الذى يصير استخدامه.

كما يجب التعرف على مناطق الضعف الطبيعية أو الصناعية فى الأرض حيث يمكن للهواء المضغوط الهروب خلالها وحدوث فقد كبير له خلال فترات زمنية قصيرة. كما يجب أن يكون هناك غطاء أرضى كاف فوق النفق ليوازن الضغوط بداخل الحفر وخاصة عند وجود النفق تحت أو بجوار مياه حره. وفى حالة عدم وجود غطاء كافى يكون من الضرورى وضع أحمال لتعطى الحماية المطلوبة.

### ٤/١١/٩ التحكم فى المياه الجوفية باستخدام التجميـــد

#### ١/٤/١١/٩ مقدمة

فى بعض الحالات يمكن استخدام أسلوب التجميد (freezing) للمياه المحتواه بداخل طبقة أرضية معينة بهدف الحصول على حائط ثلجى غير منفذ مستمر بين التربة الحاوية للمياه الجوفية وبين الأساسات. وتظهر أهمية هذه الطريقة فى حالات أعماق الحفر الكبيرة وبخاصة فى حالات تغويص البيارات لأعماق كبيرة تحت منسوب المياه الأرضية والتجميد يزيد تقريباً من مقاومة جميع أنواع التربة بصفة عامة بصورة مؤقتة وتزيد هذه المقاومة بصوة أوضح فى حالات التربة المشبعة ذات المسامية العالية (الرمل المشبع يكتسب مقاومة أكبر بكثير من الطين الطمىى المشبع).

#### ٢/٤/١١/٩ أســلوب التجميـــد

يتم إحاطة الحفر أولاً بمجموعة من الثقوب المتوازية والتى تخترق طبقات التربة الحاوية للمياه المطلوب تجميدها وحتى الوصول إلى الطبقات الغير منفذة ولكن ينبغى الحرص الشديد عند تنفيذ

هذه الثقوب للتأكد من كونها متوازية تماماً لتفادى حدوث مناطق ضعف أو فراغات فى الحائط الثلجى المزمع تكوينه. يتم إنزال أنابيب تجميد بقاع مصمت داخل كل ثقب وكل أنبوبة تحتوى بداخلها على أنبوبة ذات قطر أصغر. يتم توصيل الأنبوبتين بشكل منفصل تماماً بوحدة التجميد المتواجدة على سطح الأرض ثم يتم ضخ سائل التبريد غير قابل للتجمد مثل البراين brine داخل الأنبوبة الصغيره حتى يصل إلى قاع الأنبوبة الكبيرة ثم يصعد لأعلى فى الفراغ بين الأنبوبتين ليطرد الحرارة من التربة بينهما خلال سريانه حتى يصل إلى إلى وحدة التجميد فوق سطح الأرض.

بهذا يتم تكوين اسطوانة من الثلج تدريجياً حول كل أنبوبة من أنابيب التبريد هذه حتى تتداخل هذه الاسطوانات مع بعضها البعض لتكون حائط مجمد حول مكان الحفر المقصود.

ثم تبدأ عملية الحفر وإزالة التربة داخل الحائط الثلجى ولكن مع مراعاة الإحتياطات اللازمة ضد احتمالات حدوث انهيارات لإحرف الحفر السطحية.

بعد الإنتهاء من أعمال الصلب المؤقت اللازم لسند الحفر يتم ترك التربة لتعود إلى حرارتها الأصلية أو يمكن إمرار غاز البراين ساخن داخل الأنابيب للإسراع بهذه المرحلة.

**٣/٤/١١/٩ الاحتياطات الواجب مراعاتها**

- عند ضخ خرسانة داخل التربة المجمدة يمكن القيام بتسخين الركام ومياه الخلط المستخدمة فى الخرسانة.
- توفير معدات تجميد إضافية بصفة إحتياطية لضمان عدم حدوث توقف أثناء العمل.
- يلزم تزويد العاملين فى الموقع بمهمات وملابس كافية ضد البرودة.
- نسبة الأملاح الذائبة فى المياه الأرضية المراد تجميدها ينبغى أخذها فى الحسابات التى تتم لحساب كمية البرودة اللازمة لإتمام عملية التجميد.
- يلزم رصد هبوط ومراقبة المنشآت المجاورة لحدود الحفر المراد تنفيذه باستخدام التجميد.

# المصطلحات الفنية

## (أ)

| | |
|---|---|
| prestress | إجهاد مسبق |
| plate loading test | اختبار تحميل اللوح |
| vane shear test | اختبار قص بالمروحة |
| penetration | اختراق |
| site reconnaissance | استطلاع الموقع |
| shotcrete | أسمنت مرشوش |
| grader | آلة تسوية |
| subsidence | انخساف (انخفاض سطح الأرض) |
| landslide | انزلاق أرضي |
| wedge slide | انزلاق اسفيني |
| translational slide | انزلاق انتقالي |
| flow slide | انزلاق سريانى |
| slab slide | انزلاق بلاطى |
| block slide | انزلاق كتلى |
| toppling failure | انهيار بالانقلاب |
| anemometer | أنيمومتر (مقياس سرعة الريح) |

## (ب)

| | |
|---|---|
| well | بئر |
| culvert | بربخ |
| pond | بركة |
| brine | براين (إسم مادة) |
| shaft | بيارة |

| | |
|---|---|
| piezometer | بيزومتر (مقياس ضغط مائى) |

(ت)

| | |
|---|---|
| segmental lining | تبطين على شرائح |
| drilling | تثقيب |
| rotary drilling | تثقيب دورانى |
| dredging | تجريف |
| freezing | تجميد |
| weathering | تجوية (تعرية) |
| back analysis | تحليل تراجعى |
| subsoil | تربة تحتية |
| reinforced earth | تربة مسلحة |
| colluvial deposit | ترسيب سفحى (يتجمع من مياه السيول فى الوديان و المنخفضات) |
| steady seepage | تسرب مستقر |
| grading | تسوية |
| hydrofracture | تشقق هيدروليكى |
| consolidation | تضاغط – تدعيم |
| vibro–flotation | تعويم اهتزازى |
| casing | تغليف |
| sinking | تغويص |
| controlled blasting | تفجير محكوم |
| slumping | تفرطح |
| arching | تقبية |
| landform | تكوين مسطح الأرض |
| softening (soil) | تلين (تربة) |
| bottoming | تهذيب وتسوية قاع الحفر |

(ج)

| | |
|---|---|
| جرار زاحف | crawler tractor |
| جريان سطحى | run-off |

(ح)

| | |
|---|---|
| حائط بدعائم أمامية | buttress wall |
| حائط بدعائم خلفية | counterfort wall |
| حائط تسنيد | crib wall |
| حائط غشائى | diaphragm wall |
| حالة حد التشغيل | serviceability limit state |
| حجر وحلى | mudstone |
| حر الصرف | free draining |
| حز | notch |
| حشية مملوءة بالأحجار | stone-filled matress |
| حصى حجرى | scree (talus slope) |
| حصيرة صرف | drainage blanket |
| حفر بالبريمة | augering |
| حفرة | pit |
| حقن | grouting |
| حوض جاف | dock |

(خ)

| | |
|---|---|
| خازوق لوحي - ستارة لوحية | sheet pile |
| خث (تربة عضوية) | peat |

| | |
|---|---|
| load cell | خلية حمل |
| pressure cell | خلية ضغط |
| earth pressure cell | خلية قياس ضغط التراب |
| ditch | خندق – مجرى تصريف |
| trench | خندق ضيق |
| secant piles | خوازيق متقاطعة |
| contiguous piles | خوازيق متلاصقة |

(د)

| | |
|---|---|
| strut | دعامة عرضية |
| vibro-rammer | دقاق اهتزازى |
| vibro-tamper | دكاك اهتزازى |
| compaction | دمك |
| dynamic compaction | دمك ديناميكى |

(ر)

| | |
|---|---|
| anchor | رباط |
| backfill | ردم خلفى |
| hydraulic fill | ردم هيدروليكى (مائى) |
| quay | رصيف موانىء |
| laminations | رقائق – صفائح |
| pier (part of bridge support) | ركيزة – دعامة جسر (بغلة) |

(ز)

| | |
|---|---|
| creep | زحف |

(س)

| | |
|---|---|
| seismic velocity | سرعة سيزمية |
| mud flow | سريان الوحل |
| surface of schistosity | سطح شيستى |
| phreatic surface | سطح فريانك |
| flood plain | سهل فيضانى |

(ش)

| | |
|---|---|
| grid | شبكة |
| gabion | شبكة أحجار |
| wire mesh | شبكة سلك |
| fissure (fissure) | شق |

(ص)

| | |
|---|---|
| weathered rock | صخر متجوى |

(ط)

| | |
|---|---|
| chalk | طباشير |
| percussion | طرق |
| laminated clay | طين رقائقى |

(ع)

| | |
|---|---|
| block sample | عينة كتلية |

| | |
|---|---|
| core sample | عينة لبية |

(غ)

| | |
|---|---|
| fabric membrane | غشاء نسيجي |
| steel casing | غلاف صلب |

(ف)

| | |
|---|---|
| pre-splitting | فصل مسبق |

(ق)

| | |
|---|---|
| friable | قابل للتفتت |
| cut-off | قاطع |
| heave | قبان |
| ground bearing | قدرة تحمل الأرض |
| cut (an excavation), cutting (surface excavation) | قطع - حفر |
| capillary force | قوة شعرية |

(ك)

| | |
|---|---|
| abutment | كتف |
| skeleton abutment | كتف هيكلي |
| maximum dry density | كثافة جافة قصوى |
| sand dune | كثيب رملي |
| rubble | كسر حجارة |

(ل)

| | |
|---|---|
| لوح دامك هزاز | vibratory plate compactor, vibrating plate compactor |
| لوح ربط أفقى | waler |

(م)

| | |
|---|---|
| مادة معدنية مالئة | mineral filler |
| ماسورة قائمة (لقياس ضغط الماء) | standpipe |
| مبين الانزلاق | slip indicator |
| متربة - حفرة إمداد | borrow pit |
| مجرى مياه | watercourse |
| محتوى رطوبة أمثل | optimum moisture content |
| مخزون احتياطى | stockpile |
| مخطط بيانى قطبى | polar diagram, -plot |
| مرل (مارل) | marl |
| مستوى مائى معلق | perched water table |
| مسطاح | berm |
| مسمار للصخر | rock bolt |
| مصرف دعامة خلفية | counterfort drain |
| مصرف رأسى | vertical drain |
| مصرف واجهة | face drain |
| مصرف منقوب | bored drain |
| مقاومة كهربائية | electrical resistivity |
| مقطع جانبى | profile (cross-section) |
| مقلب (مكان للتخلص من المواد الزائدة) | tip |
| مقياس | gauge |

| | |
|---|---|
| extensometer | مقياس استطالة – مقياس امتداد |
| micro-seismometer | مقياس اهتزازات سيزمية دقيق |
| inclinometer | مقياس ميل |
| aquifer | مكمن ماء أرضي |
| open texture | ملمس مفتوح |
| heading | ممر أفقي (في منجم) |
| drainage gallery | ممر صرف |

(ن)

| | |
|---|---|
| scar | نتوء |
| erosion | نحر |
| piping | نحر داخلي |
| California Bearing Ratio, CBR | نسبة كاليفورنيا للتحمل |
| explosion | نسف |
| landscape | نسق الموقع |
| geotextile | نسق الموقع |
| macro-fabric | نسيج عيني (ماكروسكوبي) |
| anchorage system | نظام تربيط |
| spoil (muck) | نفايات الحفر |
| model | نموذج |

(هـ)

| | |
|---|---|
| differential settlement | هبوط متفاوت |
| roller | هراس |
| sheepsfoot roller | هراس حوافر الغنم |

| | |
|---|---|
| tamping roller | هراس دكاك |
| self-propelled tamping roller | هراس دكاك ذاتى الدفع |
| pneumatic-tired roller, -tyred- | هراس ذو إطارات هوائية |
| grid roller | هراس شبكى |
| smooth-wheeled roller | هراس ناعم الإطارات |
| vibratory roller, vibrating roller | هراس هزاز |

(و)

| | |
|---|---|
| mud | وحل |
| wind rose | وردة رياح |

## المراجع


1- Bearing Capacity of Soils, Technical Engineering and Design Guides as Adapated from the US Army Crops of Engineering, American Society of Civil Engineering.

2- Bjerrum, L., and Eido, O., Stability of Strutted Excavation in Clay Geotechnique, 1965, 6(1), 32-47.

3- Bjerrum, L., Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays, Proc. 8th Int. Conf. I.S.S.M.F.E., Moscow, 1973, 3, 109-160.

4- BS 6031

5- Design and Construction of Deep Basements, Institution of Structural Engineers, London 1976.

6- Gibson, R.E. and Morgenstren, N.R.A. note on the Stability of Cuttings in Normally Consolidated Clays, Geotechnnique, 1962, 212-316.

7- Ground Subsidence, Institution of Civil Engineers, 1977.

8- Ground Treatment by Deep Compaction, Institution of Civil Engineers, London, 1976.

9- Lambe, T.W. and R.V. Whitman 1979, Soil Mechanics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York.

10- Peck, R.E., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H., "Foundation Engineering," John Wiley, 2nd Edition, 1974, 456-466.

11- Skempton, A.W. and Hutchinson, J.N., Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, 7th Int. Conf.I.S.M.F.E., Mexico, 1969, State of Art Volume.

12- Taylor, D.C. Fundamentals of Soilk Mechanics, Wiley, New York, 1948.

13- The Stability of Slopes, 1992, E.N. Bromhead, Blackie Academic and Professional- An Imprint of Chapman & Hall.