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

الكود المصرى
لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات
كود رقم ٢٠٢ - ٢٠٠٥
ECP 202 - 2005

الجزء العاشر : ٢٠٢/١٠
التاسيس على الصخر

اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصرى
لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات

طبعة ٢٠٠٥

قرار وزارى
: رقم (٣٥٣) لسنة ٢٠٠٤

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية :

- بعد الإطلاع على القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بشأن أسس التصميم وشروط التنفيذ للأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٠٩٧ لسنة ١٩٦٩ في شأن تحديد أسس تصميم وشروط إستكشاف الموقع وتحديد خواص التربة واختباراتها.
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٠٩٧ لسنة ١٠٦٠ في شأن أسس وشروط وتحديد إجهادات التحمل المسموح بها في حالة الأساسات العائمة.
- وعلى قرار السيد رئيس الجمهورية رقم ٤٦ لسنة ١٩٧٧ بشأن مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني.
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٤٨ لسنة ١٩٨٩ في 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 في شأن تشكيل اللجنة الدائمة لأسس تصميم وشروط تنفيذ الأساسات 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 السيدة أ.د / رئيس مركز بحوث الإسكان والبناء بشأن إصدار القرار الوزارى بنشر الكود.

قـــرر

مادة (١) : يكون هذا الجزء " التأسيس على الصخر" هو الجزء العاشر من الكـود المـصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات الصادر بالقرار الوزارى رقم ١٣٩ لـسنة ٢٠٠١ ويصدر هذا الجزء بالقرار رقم ٣٥٣ لسنة ٢٠٠٤ .

مادة (٢) : يستبدل رقم الجزء الخاص بالمصطلحات الفنية للكود المصرى لميكانيكا التربة والأساسات والصادر بالقرار الوزارى رقم ١٢٩ لسنة ٢٠٠١ إلى رقم العشرون بدلاً من العاشر.

مادة (٣) : يتولى مركز بحوث الإسكان والبناء المشار إليه العمل على نشر ما جاء بهذا الكود والتعريف به والتدريب عليه.

مادة (٤) : تتولى اللجنة الدائمة للكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات اقتراح التعديلات التى تراها لازمة كلما دعت الحاجة لذلك . وتعتبر التعديلات بعد إصدارها جزءاً لا يتجزأ من الكود.

مادة (٥) : ينشر هذا القرار في الوقائع المصرية ويعتبر نافذاً من تاريخ النشر.

وزير الإسكان والمرافق
والتنمية العمرانية

محمود ابراهيم سليمان

أستاذ دكتور مهندس /

صدر في ٩/١٠/٢٠٠٤

١/١٠ مقدمة عامة

نظراً لامتداد العمران للمناطق الصحراوية وتواجد الصخور بكثرة فى هذه المناطق ظهرت الحاجة لوضع الخطوط العريضة والقواعد الأساسية لكيفية التعامل مع الصخر وتفهم سلوكه كمادة للتأسيس ، حيث أن الصخور فى الطبيعة تتسم ببعض التراكيب مثل التكهفات والفواصل والفوالق والتشققات ومستويات التطبق والتى تعتبر أسطح ضعف تؤثر على سلوك الكتلة الصخرية تحت تأثير الأحمال .

ويهدف هذا الكود إلى تحقيق متطلبات الأمان لأى مشروع وسلامة منشآته مستقبلاً عند التأسيس على الصخر . وفى حالة المنشآت ذات الطابع الخاص يقتضى الأمر أخذ اعتبارات الأمان الضرورية الأخرى التى تتطلبها هذه الحالات بالإضافة إلى الاشتراطات الواردة فى هذا الكود .

يتكون هذا الكود من تسعة أبواب وعدد ثلاثة ملاحق ، فالباب الأول يحتوى على المقدمة العامة ، والباب الثانى يتضمن اعتبارات التصميم التى تختص بالدراسات المتكاملة التى تغطى النواحى الجيولوجية والجيوتقنية لتحديد طبيعة وخواص الصخور بالإضافة إلى الاعتبارات الإنشائية ، والاعتبارات التى تتعلق بأنواع المنشآت ، ومعامل الأمان بهدف الوصول إلى منشأ آمن واقتصادي .

ويعرض الباب الثالث الخاص بدراسة الموقع ، الدراسات المطلوبة قبل البدء فى المشروع والتى تنقسم إلى مرحلة الدراسات الطبوغرافية والجيولوجية والجيوفيزيقية ، والتى يمكن تخطيط المشروع بعد الانتهاء منها ، ومرحلة الدراسات الجيوتقنية التفصيلية التى يستفاد منها فى الحصول على المعاملات التصميمية للمنشآت .

ويوضح الباب الرابع التصنيف الجيولوجى والهندسى للصخر السليم مع استعراض بعض طرق التصنيف الهندسى المعتمدة على المشاهدات والقياسات الحقلية ، حتى يمكن الحكم على جودة الصخر بدقة تتناسب مع درجة الأمان المطلوبة عند التأسيس . هذا بالإضافة إلى الاختبارات المعملية المختلفة المستخدمة فى توصيف وتصنيف مادة الصخر .

ويختص الباب الخامس بأسس تصميم الأساسات الضحلة . وفيه يتم عرض الأنماط الانهيارية فى الحالات المختلفة للصخر التى ترتكز عليه الأساسات الضحلة . كما يعرض هذا الباب معاملات الأمان الواجب أخذها فى الإعتبار عند التصميم .

ويستعرض الباب السادس الخاص بالأساسات العميقة طبيعة انتقال الأحمال من تلك الأساسات إلى الصخر ، وكيفية حساب قوة تحمل الأنواع المختلفة من الخوازيق ، ومدى تأثر ذلك بأساليب الإنشاء .

ومن المسئوليات الهندسية الهامة التى تقع على عاتق المهندسين تأمين سلامة الميول الدائمة أو المؤقتة سواء كانت طبيعية أو صناعية . ولذا يشتمل الباب السابع على أنواع تحركات الميول وأسبابها والطرق المختلفة لدراستها وتحليلها ، بالإضافة الى تحديد معاملات القص التصميمية .

ويبين الباب الثامن شرحاً لبعض العناصر المستخدمة فى تثبيت الكتل الصخرية أو ربط أساسات المنشآت بالصخر ، بالإضافة إلى الاحتياطات الواجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار أو تنفيذ أو اختبار الوسائل المستخدمة فى التثبيت .

وكان من الضرورى فى هذا الكود تقديم إرشادات عامة للتعرف على بعض الظروف الخاصة التى يمكن مواجهتها عند التأسيس على الصخور وكيفية معالجتها لتجنب حدوث مشكلات أثناء وبعد الإنشاء . وعليه يقدم الباب التاسع الاعتبارات الخاصة لحالات ثلاث هى التكوينات التكهفية والصخور القابلة للانتفاش ، والطبقات الأنتقالية بين التربة والصخر .

أما الملاحق فتحتوى على معلومات وبيانات جيولوجية على الوجه التالى :
الملحق (أ) يتضمن أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية والمشاكل المصاحبة لها .
الملحق (ب) توزيع الصخور والتراكيب الجيولوجية الظاهرة على سطح الأرض فى جمهورية مصر العربية .
الملحق (ج) مصادر المعلومات الجيولوجية لجمهورية مصر العربية .

٢/١٠ اعتبارات التصميم

١/٢/١٠ مقدمـــــة

تتميز التكوينات الصخرية بصفة غالبة بأنها غير مستمرة (ذات فواصل) وعلى الأخص تلك التى تتواجد على أعماق قريبة نسبياً من سطح الأرض ، وهذا يؤثر بقدر كبير على السلوك الهندسى للكتلة الصخرية . ويعتبر ذلك من أهم الأسباب التى تحتم إجراء دراسة متكاملة تغطى النواحى الجيولوجية والجيوتقنية لتحديد طبيعة وخواص الصخور اللازمة فى مرحلة التصميم ، بالإضافة إلى الاعتبارات الطبوغرافية والمناخية والاعتبارات التى تتعلق بأنواع المنشآت ومعامل الأمان وذلك بهدف الوصول إلى منشأ آمن واقتصادي [١] .

٢/٢/١٠ طبيعة وخواص الصخور

يجب على المهندس الإحاطة بالتراكيب الجيولوجية للصخر مثل الفواصل (أنواعها وخصائصها وعمقها وميولها واتجاهاتها) ، والطبقات وميولها ، والطيات والصدوع . ويجب كذلك الإحاطة بمدى تأثر الصخور بعوامل التجوية والمياه .

٣/٢/١٠ أنوع المنشآت

يختص هذا الكود بالمنشآت ذات الاستخدامات المدنية العادية فى مجالات الإسكان والبنية الأساسية والصناعة . وفى حالة المنشآت ذات الطابع الخاص مثل الأنفاق ، ومنشآت الطاقة الذرية ، والمنشآت العسكرية ، والمنشآت المنفذة تحت الأرض والخزانات الأرضية ، والمناجم ، يقتضى الأمر أخذ اعتبارات الأمان الضرورية الأخرى التى تتطلبها هذه الحالات بالإضافة إلى الاشتراطات الواردة فى هذا الكود .

٤/٢/١٠ اعتبارات إنشائية

يتطلب تصميم المنشآت المرتكزة على الصخور إجراء دراستين أساسيتين : الأولى تختص بتحديد قدرة تحمل الصخر والهبوط المتوقع ، والثانية تختص بتحديد مقدار الاتزان ضد الانزلاق ، حيث قد يحدث انهيار للأساسات أو الميول فى الصخر على طول أسطح مستويات الضعف . كما يلزم دراسة شكل سطح الانهيار المتوقع وإجراء تقييم دقيق لظروف الإجهادات مع الأخذ فى الاعتبار التوافق بين تصرف المنشأ العلوى والأساس الصخرى .

٥/٢/١٠ اعتبارات أخرى

هناك اعتبارات أخرى يجب دراستها كالآتي:

١- تغير الإجهادات في الصخر.

٢- تأثر الصخر بالعوامل الجوية ، وكذلك التدهور السريع لبعض أنواع الصخر الضعيف المسامي وتحوله إلى تربة ضعيفة عند تعرضه للتجوية.

٣- معدل الذوبان السريع لبعض أنواع الصخور عند تعرضها للمياه الأرضية مما يسبب حدوث فجوات holes وتكهفات caves وبالوعات sinkholes .

٤- الانتفاش الذي يحدث لبعض الصخور نتيجة تعرضها لرطوبة الجو أو عند امتصاص معدن الطين الذي تحتويه للماء .

٥- ارتداد الصخر نتيجة تخفيف الحمل .

٦- تأثير وجود الصدوع faults والفواصل joints عند تقدير نفاذية الصخور للمياه .

٧- وفى حالة الدراسات المبدئية لتقدير تأثير سريان المياه seepage ، وبصفة خاصة عند تصميم المنشآت الهيدروليكية ، يراعى استخدام قيم متحفظة لمعامل النفاذية للكتلة الصخرية نظراً لصعوبة تحديد مقدار السريان الفعلي فى الكتلة الصخرية ومساراته .

٦/٢/١٠ معامل الأمان

يعرف معامل الأمان عموماً فى هذا الكود بدلالة معاملات مقاومة القص لكتلة الصخر . وفى حالة التحليل الذى يتضمن انهيار الكتلة الصخرية failure of rock mass سواء بالقص أو الانزلاق ، يعرف معامل الأمان على أنه المقدار الذى يتم به تخفيض مقاومة القص التصميمية بحيث يؤدى ذلك إلى وصول الكتلة الصخرية المنزلقة إلى حالة من الاتزان الحدى على طول سطح الانزلاق . أما فى حالات التحليل التى تتضمن فشل قدرة التحمل bearing capacity failure ، فيعرف معامل الأمان على أنه النسبة بين الإجهاد الأقصى ultimate stress إلى إجهاد التشغيل الفعلى working stress .

وفى جميع الأحوال ، فإن معاملات الأمان الواردة فى هذا الكود تمثل معاملات الأمان الصغرى المسموح بها بغرض تصميم الأساسات على الصخر وضمان اتزان الصخر للمنشآت المذكورة فى بند ٣/٢/١٠.

٣/١٠ دراسة الموقع

١/٣/١٠ مقدمة

يشمل هذا الباب عرضاً للدراسات المطلوب تنفيذها للتحقق المبدئى من صلاحية الموقع للمشروع. ويمكن تقسيم هذه الدراسات إلى مرحلتين أساسيتين :

تشمل المرحلة الأولى الدراسات المناخية والطبوغرافية والجيولوجية بالإضافة إلى الدراسات الجيوفيزيقية إذا تطلب الأمر عملها . ويستعان فى هذه الدراسات بالمتخصصين فى تلك المجالات لتحديد المساحات أو المناطق المناسبة للإنشاء الإقتصادى الأمن والتى يتم بعدها البدء فى تخطيط المشروع . وتعتبر هذه المرحلة من الواجبات الأساسية لأجهزة التعمير عند اختيار وتخطيط مواقع المدن الجديدة والتجمعات السكنية والمشاريع الكبيرة فى المناطق الصحراوية. أو العمرانية الجديدة .

أما المرحلة الثانية فتشمل الدراسات الجيوتقنية التفصيلية والتى يستفاد منها فى الحصول على المعاملات التصميمية لتلك المنشآت ويقوم بها المهندس الجيوتقنى.

٢/٣/١٠ الدراسات الجيولوجية

تتم الدراسات الجيولوجية للموقع بعمل زيارة ميدانية بواسطة متخصصين فى مجال الجيولوجيا الهندسية للتعرف على أهم الوحدات الصخرية المنكشفة على سطح الأرض وكذلك التعرف على التراكيب الجيولوجية الموجودة بالمنطقة وقياس إتجاهاتها وتشتمل هذه الدراسة على الآتى:

١/٢/٣/١٠ وصف وتصنيف الصخور الظاهرة بالموقع

يشمل وصف نوعية الصخور ودرجة التجوية وذلك طبقا لما ورد بالباب الرابع من هذا الكود. يمكن الرجوع إلى مزيد من التفاصيل عن أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية ، وعن توزيع تلك الصخور والتراكيب بجمهورية مصر العربية ، وكذلك عن مصادر المعلومات الجيولوجية لجمهورية مصر العربية بالملاحق (أ) ، (ب) ، (ج) على التوالى .

٢/٢/٣/١٠ التعرف على التراكيب الجيولوجية الموجودة بالموقع وتصنيفها

ويشمل توضيحاً مختصراً لأهم التراكيب الجيولوجية بالموقع من فوالق وفواصل وطيات وذلك طبقا لما ورد بالملحق (أ) .

٣/٢/٣/١٠ رسم خريطة جيولوجية للموقع

يتم إعداد خريطة جيولوجية للموقع بمقياس رسم يتناسب مع مساحة المشروع وتتراوح قيمته بين ١ : ٥٠٠٠ إلى ١ : ٢٥٠٠٠ وذلك فى المشروعات الكبرى. توضح هذه الخريطة مكاشف

الصخور المختلفة ووضعها الجيولوجى من حيث درجة الميل ، وعلاقتها بالتراكيب الجيولوجية الموجودة وكذلك عمرها الجيولوجى.

٤/٢/٣/١٠ المخرجات المطلوبة من الدراسات الجيولوجية للموقع

٤/٢/٣/١٠ (أ) مخرجات أساسية

(أ-١) رسم خريطة تفصيلية لتوضيح توزيع الصخور المختلفة على سطح الأرض بعد تقسيمها إلى وحدات لها خواص هندسية متشابهة. ويوضح على هذه الخريطة التراكيب الجيولوجية المختلفة وميل الطبقات.

(أ-٢) رسم قطاع رأسى cross section يوضح امتداد الوحدات الصخرية تحت سطح الأرض والتراكيب الجيولوجية المؤثرة بها.

(أ-٣) رسم خرائط توزيع السمك لوحدة صخرية أو لوحدات صخرية مختلفة باستخدام سمك هذه الوحدات الظاهر على سطح الأرض ومن خلال الجسات المتاحة.

٤/٢/٣/١٠ (ب) دراسة الصخور الموجودة بالموقع

(ب-١) وصف كامل للصخور من حيث:

(ب-١-١) تركيبها المعدنى ونسيجها الصخرى واسم الصخر.

(ب-١-٢) درجة تجوية الصخر والمواد الناتجة من التجوية ، وكذلك عمق التجوية من أعلى إلى أسفل .

(ب-١-٣) تحديد أشكال الإذابة من فجوات وفراغات بالطبقات المختلفة.

(ب-١-٤) دراسة الامتداد الجانبى لكل طبقة لتوضيح وجود أى تغير جانبى فى السمك أو فى نوع الصخر.

(ب-١-٥) وصف التراكيب الأولية والنسيج ودرجة رطوبة الصخور الطينية لتحديد خواص الإنتفاش بها.

(ب-١-٦) تحديد قيمة معامل جودة الصخر RQD (كما سيتم تعريفه فى بند ١/٤/٤/١٠) من القطاعات المنكشفة سواء فى اتجاهات خطية رأسية أو فى الأبعاد الثلاثة لكتلة مكعبة الشكل ذات أبعاد مناسبة (طول ضلعها ٢٠ متراً مثلاً).

(ب-٢) قياس قطاع لتتابع الطبقات وسمك كل منها.

(ب-٣) تحديد العلاقة بين سمك الطبقات المختلفة والمسافات البينية للفواصل المؤثرة بها.

(ب-٤) أخذ عينات صخرية ممثلة لكل نوع صخر بالموقع وذلك لعمل دراسات معملية عليها مع ضرورة تحديد مواقع العينات على خريطة الموقع.

(ب-٥) دراسة التداخلات من الصخور النارية من حيث سمكها وطبيعة الأسطح التى تحدها مع قياس المضرب ومقدار واتجاه ميلها.

٤/٢/٣/١٠ (ج) فى حالة وجود صدوع

(ج-١) تحديد موقع الصدع بدقة على الخريطة الجيولوجية للموقع.

(ج-٢) قياس مضرب الصدع واتجاه وزاوية ميله بالبوصلة الجيولوجية .

(ج-٣) تحديد اتجاه ومقدار الإزاحة التى سببها الصدع وكذلك نوعها (إزاحة عادية ، معكوسة ، أم أفقية). وقد يستلزم ذلك عمل حفر استكشافية فى الأماكن المتأثرة بالصدع.

(ج-٤) تحديد طبيعة أو صفات نطاق الصدع (المواد المالئة ودرجة رطوبتها ودرجة نفاذيتها والشروخ الموجودة بها).

(ج-٥) تحديد نوعيات الصخور الموجودة على جانبى الصدع على سطح الأرض وعلى عمق التأسيس ، مع تحديد وجود أية فواصل مصاحبة للصدع وقياس المسافات البينية لهذه الفواصل وتغير هذه المسافة كلما ابتعدنا عن سطح الصدع.

(ج-٦) تحديد علاقة هذه الصدوع بخزانات المياه الجوفية.

(ج-٧) فى مناطق تواجد الصدوع مع المنحدرات والأنفاق والمقاطع الصخرية يجب تحديد وضع هذه الصدوع مع محور النفق أو اتجاهات المنحدرات والمقاطع الصخرية.

ويجب تحديد ما إذا كان الصدع من الصدوع النشيطة أم لا. وفى حالة الصدوع النشيطة يجب معرفة معدل الإزاحة السنوية على الصدع وذلك بمعلومية عمر الصخور التى يقطعها الصدع حتى سطح الأرض فى الحفر الاختبارية المذكورة أعلاه.

٤/٢/٣/١٠ (د) فى حالة وجود طيات

(د-١) تحديد موقع الطية على الخريطة الجيولوجية للموقع وذلك بتحديد مكان المستوى المحورى على الخريطة.

(د-٢) قياس زاوية ميل جناحى الطية واتجاه المحور ومقدار واتجاه ميله فى حالة الطيات الغاطسة.

(د-٣) دراسة الفواصل المصاحبة للطية سواء كانت فى الجناحين أو عند المستوى المحورى.
(د-٤) تحديد طول جناحى الطية ونوعية الصخور المكونة لطبقات كل جناح مع تحديد الحد الفاصل بين هذه الطبقات.

٤/٢/٣/١٠ (هـ) فى حالة وجود فواصل

(هـ - ١) تحديد عدد مجموعات الفواصل المؤثرة على الصخور الموجودة بالموقع.
(هـ-٢) قياس اتجاه الفواصل التى تتبع كل مجموعة (المضرب وإتجاه ومقدار الميل) باستخدام البوصلة.
(هـ-٣) قياس المسافات البينية لكل مجموعة من الفواصل واتساع فتحة الفواصل وما إذا كانت هذه الفتحة فارغة أم مملؤة بأى معادن أو مواد ، ووصف هذه المادة المالئة ودرجة رطوبتها وطبيعة ودرجة خشونة مستوى الفاصل.
(هـ-٤) قياس امتداد الفواصل إلى أسفل وهل تنتهى هذه الفواصل بتغير نوع الصخر من طبقة إلى أخرى أم يستمر بعضها مع تغير فى مقدار المسافة البينية.
(هـ-٥) دراسة التغير فى اتجاهات الفواصل أو كثافتها (عددها) من طبقة إلى طبقة أخرى توجد أسفل منها.
(هـ-٦) تحديد وضع كل مجموعة من مجموعات الفواصل على حدة مع اتجاهات محاور الأنفاق والمنحدرات والمقاطع الصخرية.
(هـ-٧) تحديد الكتل الصخرية الناتجة من تقاطع أكثر من مجموعة من مجموعات الفواصل من حيث الأبعاد والشكل الهندسى والفواصل التى تحدها.
(هـ-٨) دراسة مستويات التشوه بالصخور(التصفح ، التورق).

٥/٢/٣/١٠ تحليل البيانات

تجرى دراسة تحليلية لبيانات الدراسات الجيولوجية لمعرفة مدى تأثير نوعية الصخور والتراكيب الجيولوجية والمياه الجوفية على المنشآت المراد إقامتها بموقع المشروع. كما يتم تحديد المناطق الجيدة والمقبولة فى موقع المشروع والأماكن ذات المشاكل الجيولوجية التى قد تؤثر على تصرف المنشآت وتكلفتها. ومثال ذلك الابتعاد عن الصدوع النشطة وكذلك مناطق الصخور ذات المشاكل المشار إليها فى الباب التاسع مثل الطين الصفحى عالى الانتفاش أو الصخور البازلتية عالية

النجوية أوالصخور الملحية عالية القابلية للذوبان أو الصخور الضعيفة أو مناطق الكهوف القريبة من سطح الأرض. ينتج من هذه الدراسة خريطة جيولوجية هندسية engineering geological map يستخدمها المخطط والمصمم للحصول على منشأ آمن بتكلفة مناسبة، وكذلك يستفاد من هذه الخريطة فى دراسة الاستخدام الأمثل للمنطقة تبعا لخصائصها الجيوهندسية.

٣/٣/١٠ الدراسات الجيوتقنية

يرجع إلى الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات (١/٢٠٢) الجزء الأول دراسة الموقع بند ٢/١ استطلاع الموقع والذى يبين بالتفصيل الدراسات التى يجب تنفيذها قبل البدء فى المشروع مثل دراسة المعلومات المتاحة حول الموقع ، وكذلك الدراسات الاستكشافية والتى تشمل المساحة الطوبوغرافية والمعلومات الجيولوجية والمسح الجيوفيزيقي ، والتى تم إعدادها مسبقاً لاختيار أماكن المشاريع فى المناطق العمرانية الجديدة .
أما بالنسبة للدراسات الجيوتقنية فتشمل الآتى:

١/٣/٣/١٠ عمل حفر استكشافية

تستخدم هذه الحفر للحصول على عينات طبيعية غير مقلقلة ممثلة لحالة الصخر بالموقع لإجراء تجارب معملية عليها مثل (الكثافة ، التحمل ، القص ، النفاذية ، .... ، الخ) ولتحديد عمق النجوية ونطاق تغيرها weathering profile وتوصيف الصخور القريبة من سطح الأرض ، ويصل عمق هذه الحفر إلى خمسة أمتار.

٢/٣/٣/١٠ تنفيذ جسات ميكانيكية

تنفذ جسات ميكانيكية لأعماق مناسبة لطبيعة المشروع للحصول على عينات لبية طبيعية ممثلة لطبيعة الصخر بالموقع. تنفذ هذه الجسات بواسطة ماكينات تثقيب ذات تبريد بالمياه أو الهواء، ويستخدم فى استخراج العينات الكور المفرد أو المزدوج أو الثلاثى single, double, or core barrel triple حسب درجة تأثر الصخر بعملية استخراج العينة وحسب درجة تأثرة بالمياه ، فمثلا يمكن استخدام الكور المفرد ذو التبريد بالمياه للصخر القوى الذى لايتأثر بالمياه ، أما فى حالة الصخر الذى يمكن أن تتفكك بعض حبيباته بالمياه مثل الحجر الرملى الضعيف أو الحجر الجيرى البطروخى oolitic فيلزم استخدام الكور المزدوج أو الثلاثى، أما فى حالة الصخر الذى يحدث له تغير فى الحجم مثل الحجر الطينى و الشيل ، أو الصخر الذى يفقد جزءاً كبيراً من مقاومته لاجهادات القص مثل الحجر الطميى والمارل نتيجة التعرض

للمياه فيفضل استخدام ماكينات التثقيب ذات التبريد بالهواء. يستفاد من الجسات والعينات المستخرجة منها فى الآتى:

(أ) تصنيف العينات جيولوجياً وهندسياً

(ب) حساب نسبة الاستخلاص كالآتى:

نسبة الاستخلاص = مجموع أطوال عينات الصخر المستخرجة / الطول الكلى للكور

ويمكن استخدام ماكينات تثقيب ذات كفاءة عالية وكور مناسب لنوع الصخر الحصول على نسبة اسخلاص لا تقل عن ٩٥% إلا فى حالة احتواء الصخر على فراغات أو تكهفات ويمكن الاستدلال على ذلك عند حدوث هروب لمياه أو هواء التبريد أو السقوط الحر لعمود الحفر.

(ج) حساب درجة جودة الصخر كما هو مذكور بالبند ١٠/٤/٤/١.

(د) تحديد منسوب المياه الجوفية.

(هـ) قياس نفاذية الكتلة الصخرية تحت السطحية.

(و) عمل تجارب معملية على عينات الصخر السليم لتحديد قوة التحمل لاجهادات الضغط المحورى وقوة التحمل لاجهادات القص وكذلك تحديد المعاملات الهندسية المفيدة فى التصميم مثل معامل التشكل ونسبة بواسون.

(ز) عمل دراسة سيزمية لقطاع الصخور من خلال الجسات بواسطة المسح المتقاطع أو من داخل الجسة بواسطة المسح الداخلى.

ويستفاد من نتائج الاختبارات السابقة فى عمل قطاعات جيولوجية تحت سطحية دقيقة لتحديد الامتداد الأفقى والرأسى للطبقات واتجاه ميلها ومدى تأثيرها على المنشآت التى ستقام عليها، وكذلك فى رسم مجسم ثلاثى الأبعاد يوضح التغيرات فى صفات الصخر للطبقات المختلفة والتراكيب الجيولوجية المؤثرة على المنطقة. فى حالة مشروعات الأنفاق يمكن دراسة قطاع الصخر الطولى الموازي لاتجاه حفر النفق من خلال جسات ميكانيكية أفقية.

يرجع إلى الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات (١/٢٠٢) إصدار ٢٠٠١ الجزء الأول دراسة الموقع بند ١/٦/١ والذى يبين تفاصيل تنفيذ الجسات وعددها وأعماقها .

٣/٣/٣/١٠ التجارب الحقلية

تتطلب بعض المشاريع الهندسية تحديد الخصائص الهندسية للكتلة الصخرية بالموقع مثل معامل المرونة ومعامل النفاذية ومقاومة القص وقوة التحمل وتتم هذه التجارب بمعدات ميكانيكية مثل :

uniaxial jacking test, pressuremeter and packer tests وهى تعطى نتائج هامة تستخدم فى تصميم المنشآت.

٤/٣/٣/١٠ التوصيف الجيولوجى والهندسى للعينات اللبية

يتم توصيف العينات اللبية المستخرجة من الجسات كما سيتم توضيحه فى الباب الرابع على النحو التالى:

- تحديد لون الصخر.
- تحديد نسيج عينة الصخر (حبيبى ، بللورى ، زجاجى ، ... الخ).
- وصف التراكيب الجيولوجية (تورق ، فواصل).
- تحديد درجة التجوية.
- حساب معامل جودة الصخر (كما هو معرف بالبند ١٠/٤/٤/١).

معامل جودة الصخر RQD = مجموع أطوال أجزاء العينة اللبية التى يصل طول كل منها أو يزيد على ١٠ سم مقسوما على الطول الكلى للكور.

وكمثال لذلك : إذا كان طول وصلة الكور (ماسورة استخراج العينات) = ١,٥٠ متر وتم استخراج ٨ أجزاء لعينات أسطوانية بالأطوال الآتية : ١٥، ٢٠، ٨، ٣٠، ٢٢، ٥ ، ٢٠ ، ٣٠ سم فيكون مقدار جودة الصخر: (١٥ + ٢٠ + ٣٠ + ٢٢ + ٢٠ + ٣٠) مقسوما على ١٥٠ أى أن معامل جودة الصخر = ٩١ %.

٤/٣/١٠ الدراسات الجيوفيزيقية

توجد طرق استكشافية تستخدم فيها أجهزة المسح الجيوفيزيقى وذلك في عمل قطاعات تحت سطحية واضحة للأرض بأعماق تتناسب مع طبيعة المشروع الهندسي وتستكمل هذه البيانات بنتائج الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية التفصيلية . ومن أهم هذه الطرق الاستكشافية ما يلي :

١/٤/٣/١٠ طريقة المسح الزلزالي الضحل

يعتمد المسح الزلزالي الضحل shallow seismic survey على إرسال موجات اهتزازية صناعية من مطرقة كبيرة أو مادة متفجرة إلى طبقات الأرض و استقبال الموجات المنعكسة أو المنكسرة على مجموعة مستقبلات متصلة بحاسب آلي به مجموعة من البرامج التي تستخدم في

تقوية و تحسين الموجات المنعكسة تبعا لخصائص كل طبقة . و ينتج عن هذا النوع من المسح الجيوفيزيقى قطاع تحت سطحي يوضح الامتداد الأفقي و الرأسي للطبقات وكذلك التراكيب الجيولوجية المؤثرة عليها . كذلك يمكن حساب قيم المعاملات الهندسية من السرعات المختلفة لكل طبقة (Young's modulus, rigidity modulus) . أما عن المعلومات المستفادة من المسح الزلزالي الضحل فهي :

- الحصول على قطاع جيوفيزيقى للطبقات تحت السطحية .
- معرفة التراكيب الجيولوجية المؤثرة بالصخور تحت السطحية .
- تحديد المعاملات الهندسية المستنتجة من السرعات المقاسة (كثافة ... الخ).

وجدير بالذكر أن استخدام طريقة المسح الزلزالى الضحل لا تعطى نتائج طيبة فى ظروف معينة مثل :

- مناطق الصخور النارية ذات الأعماق الكبيرة .
- مناطق القباب الملحية .
- مناطق الصخور الرسوبية السميكة ذات النوع الواحد مثل الحجر الرملي النوبي الذي يبلغ سمكه أكبر من ٢٠٠ م.
- مناطق الفجوات الكبيرة.

ويلاحظ أن أقصى عمق يمكن عنده الحصول على معلومات تحت سطحية جيدة تفيد في التطبيقات الهندسية هو مائة متر في حالة استخدام المتفجرات كمصدر للموجات المرسلة.

٢/٤/٣/١٠ طريقة المسح الكهربي

يعتمد المسح الكهربي electrical survey على إرسال تيار كهربي داخل طبقات الأرض من خلال قطبين من الحديد مثبتين على سطح الأرض و قياس مقاومة الصخور للجهد الكهربي من خلال قطبين آخرين . وتعطى هذه الطريقة نتائج جيدة في حالة الطبقات ذات التنوع الليثولوجى ، ومن أهم مميزات هذه الطريقة :

- تحديد طبقات الطين المشبع بالمياه.
- تحديد منسوب المياه الجوفية بدقة.
- رسم قطاع جيولوجي كهربى للطبقات تحت السطحية .
- تحديد عمق الصخور ذات التوصيل الجيد للكهرباء .

يرجع الى الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات (١/٢٠٢) إصدار ٢٠٠١ الجزء الأول دراسة الموقع بند ١/١٠/١ و ٢/١٠/١ لمعرفة تفاصيل استخدام الطريقتين .

١٠/٣/٤/٣ مسح الجاذبية الدقيق

تعتبر طريقة مسح الجاذبية الدقيق microgravity survey إحدى الطرق الجيوفيزيقية التى تعتمد على التغير في الجاذبية نتيجة للتغير في طبقات الصخر تحت السطحية. و أقصى عمق يعتمد عليه عند تطبيق هذه الطريقة هو ٥٠ متراً . و من أهم مميزات هذه الطريقة :

(أ) توضيح التغير المفاجئ في كثافة الصخر،

(ب) استكشاف الكهوف تحت السطحية بوضوح .

(ج) تحديد عمق و امتداد الصخور ذات الكثافات المنخفضة.

١٠/٣/٤/٤ المسح الرادارى

يعتمد المسح الرادارى radar survey على إرسال موجات رادارية إلى جوف الأرض واستقبالها مرة أخرى. وقد ظهرت أهمية هذا النوع من المسح عند إستخدامه من الأقمار الصناعية . ويمكن الحصول على نتائج جيدة بهذه الطريقة في المناطق الجافة و المناطق المغطاة بالكثبان الرملية، و قد طبقت هذه الطريقة في جنوب الصحراء الغربية لمصر لإستكشاف الأودية القديمة المغطاة بالرمال ويمكن إستخدامها في الكشف عن التكهفات الضحلة في المناطق غير المشبعة بالمياه.

٤/١٠ تصنيف الصخر

١/٤/١٠ مقدمة

يتضمن هذا الباب التصنيف الجيولوجى والهندسى للصخر السليم intact rock مع استعراض بعض طرق التصنيف الهندسى للكتلة الصخرية المعتمدة على المشاهدات والقياسات الحقلية والاختبارات المعملية ، حتى يمكن الحكم على جودة الصخر بدقة تتناسب مع درجة الأمان المرجوة عند التأسيس وتقدير قيم المعاملات التصميمية المستخدمة فى تحليلات الاتزان وقدرة التحمل والانضغاط ، ويجب أن يقوم بهذا التصنيف ذوى الخبرة في مجال الجيولوجيا الهندسية engineering geology .

٢/٤/١٠ التصنيف الجيولوجى للكتلة الصخرية

تصنف الكتلة الصخرية rock mass طبقاً للأصل الجيولوجى لمادة الصخر rock material ، وطبقاً للخصائص الجيولوجية لعينات الصخر ومستويات عدم الاتصال والفواصل ودرجة التجوية كما هو موضح بالبنود التالية :-

(أ) نوع الصخر	جدول رقم (١٠-١)
(ب) لون الصخر	جدول رقم (١٠-٢)
(ج) نسيج الصخر	جدول رقم (١٠-٣)
(د) المقاومة	جدول رقم (١٠-٤)
(هـ) درجة التجوية	جدول رقم (١٠-٥)
(و) التشققات	جدول رقم (١٠-٦)
(ى) الفواصل ومستويات عدم الاتصال	جداول رقم (١٠ – ٧ أ ، ب ، ج ، د ، هـ).

١/٢/٤/١٠ نوع الصخر

يتم التصنيف الجيولوجي للصخور طبقاً لنوعها كما هو موضح بالجدول رقم (١٠ – ١).

٢/٢/٤/١٠ لون الصخر

تتميز الصخور بتنوع ألوانها تبعاً للمعادن المكونة لها . فنجد أن الصخور الكربوناتية (مثل الحجر الجيرى) تأخذ اللون الأبيض لتواجد معدن الكالسيت وكذلك تأخذ صخور الجرانيت ألواناً متعددة تعتمد على المعادن المؤثرة فى اللون فنجد الجرانيت الأحمر يأخذ لونه من معدن الأورثوكليز

جدول (١٠- ١) التصنيف الجيولوجي للصخور

المجموعة الصخرية	رسوبية Sedimentary					متحولة Metamorphic	نارية Igneous		
التكوين	صخور ذات مستويات تطبق (Bedded)					تركيب صفحي	Massive jointed		
	(detrital grains)					صخور ذات تركيب متبلور أو زجاجي (Cryptocrystalline)			
حجم الحبيبات مم	النسيج	حبيبات الصخر من الكوارتز والفلدسبار و معادن الطين	>٥٠ % من الحبيبات جيرية	٥٠% من الحبيبات الدقيقة من أصل ناري	صخور كيميائية أو عضوية	كوارتز - فلدسبار ميكا معادن معتمة	يعتمد على صخور الأصل	كوارتز ، فلدسبار ، ميكا و معادن فلدسبارتية	
								حمضي	متوسط	قاعدي
٦٠	حبيبات خشنة جدا	حبيبات مستديرة كونجلومرات	كالك رونيت Calci-Rudite	حبيبات مستديرة Agglom-erate أجلومرات حبيبات مدببة بريشيا نارية	صخور ملحية: Saline rocks هاليت	(نيس) Gneiss	كوارتزيت Quartzite	Pegmatite بجماتيت		
	حبيبات خشنة	حبيبات مدببة بريشيا			جبس gypsum			جرانيت Gr n	ديورايت D or	جابرو G bbro
٢	رملي الحبيبات	حجر رملي Quartz كوارتز Arkose اركوز جريوك Graywacke	كالك ارنيت Calci-Arenite	تف Tuff	حجر جيري Limestone		رخام Marble	ميكروجرانيت M cro r n	ميكرو ديوريت M crod or	دولريت Dol r
٠,٠٦	نفيق الحبيبات	حجر طيني وطمي Shale شيل حجر طمي Siltstone حجر طيني Claystone	طباشير Calci-Eulite (chalk)		دولوميت Dolomite		هورنفلس Hornfels امفيبوليت Amphibolite	ريوليت Rhyol	انديسيت And s	بازلت B s l
٠,٠٠٢	نفيق الحبيبات جدا				خث Peat					
					ليجنيت Lignite					
					فحم Coal					
	Glassy زجاجي				Chert شيرت Flint قلنت			Volcanic Glass زجاج بركاني		

Limestone الحجر الجيري

رماد بركاني

الجرانيت الرمادى يأخذ لونه من معادن البلاجيوكليز والهورنبلند وكذلك الجابرو يأخذ لوناً أسوداً داكناً لكثرة معادن الحديد والهورنبلند. ويمكن عمل تقسيم مبسط للصخور من حيث درجة ألوانها إلى مجموعتين كما يلى :-

(أ) مجموعة الصخور فاتحة اللون ويندرج تحت هذه المجموعة جميع أنواع الصخور ذات الألوان الفاتحة مثال صخور الجرانيت ، الكربونات ... إلخ .

(ب) مجموعة الصخور داكنة اللون ويندرج تحت هذه المجموعة جميع أنواع الصخور ذات اللون الداكن أو الأرضى مثال الجابرو والبازلت ... إلخ . ويستخدم الجدول (١٠- ٢) فى توصيف درجة لون الصخر .

جدول (١٠- ٢) لون الصخر الأساسى و الثانوى

درجة اللون	اللون الأساسى		اللون الثانوى	
صخور فاتحة	أبيض	white	--	
(جرانيت-كربونات)	وردى	pink	يميل إلى الوردي	pinkish
أو صخور داكنة	أحمر	red	يميل إلى الاحمرار	reddish
(جابرو – بازلت)	أصفر	yellow	يميل إلى الاصفرار	yellowish
	بنى	brown	يميل إلى البنى	brownish
	زيتوني	olive	يميل إلى الزيتونى	olive
	أخضر	green	يميل إلى الاخضرار	greenish
	أزرق	blue	يميل إلى الأزرق	bluish
	رمادى	gray	يميل إلى الرمادى	grayish
	أسود	black	---	

و فيما يلي بعض الامثلة:

١- جرانيت وردي يميل الي الاحمرار Reddish pink Granite .

٢- بازلت أسود يميل للرمادي Grayish black Basalt .

٣- كلوريت أبيض مخضر Greenish white Chlorite .

٤- صخر السربنتين زيتوني يميل للاخضرار Greenish olive Serpentinite .

٣/٢/٤/١٠ نسيج الصخر

يقصد بالنسيج طريقة ترتيب المعادن المكونة للصخر ، حيث تأخذ أشكالاً عديدة فى الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة .

ويمكن تقسيم نسيج الصخور إلى ثلاث مجموعات أساسية وهى تشمل مجموعة الصخور ذات النسيج الحبيبى (صخور رسوبية) ، ومجموعة الصخور ذات النسيج الزجاجي (غير متبلور) وتشمل بعض الصخور النارية ومجموعة صخور النسيج البلوري وتشمل الصخور النارية والمتحولة . و الجدول (١٠-٣) يوضح تصنيف الصخور تبعاً لنسيجها.

جدول (١٠-٣) التصنيف طبقاً للنسيج الصخرى

الصخور الرسوبية			الصخور النارية والمتحولة		
نسيج الصخر	القطر المكافىء (مم)	اسم الصخر	نسيج الصخر	القطر المكافىء (مم)	أسم الصخر
كبير الحبيبات	أكبر من ٢,٠٠	كونجلوميرات - بريشيا	بلورى كبير	أكبر من ٥,٠٠	جرانيت - ماربل
متوسط الحبيبات	٠,٠٦ - ٢,٠٠	حجر رملى - حجر جيرى	بلورى متوسط	١,٠٠ - ٥,٠٠	جرانيت - جرانوديورايت
دقيق الحبيبات	٠,٠٠٢ - ٠,٠٦	حجر طينى - حجر طميى - الشيل	بلورى دقيق	أقل من ١,٠٠	دوليريت - كلوريت
حبيبات دقيقة جداً	أقل من ٠,٠٠٢	الفحم - اللجنيت	بلورى دقيق جداً (ميكرسكوب)	لايرى بالعين المجردة	بازلت - رايوليت
			زجاجى	غير متبلور	أوبسيديان

١٠/٤/٢/٤ المقاومة

تقسم الصخور من حيث درجة مقاومتها strength إلى صخور درجة مقاومتها عالية للغاية مثل الصخور النارية والمتحولة وصخور متوسطة المقاومة مثل الحجر الرملى والحجر الجيرى وصخور منخفضة المقاومة مثل الحجر الطينى . وفيما يلى جدول (١٠- ٤) يوضح تصنيف الصخور تبعاً لدرجة مقاومتها وعلاقتها بمقاومة الضغط المحورى.

جدول (١٠- ٤) التصنيف طبقاً لدرجة المقاومة

درجة المقاومة	اختبار الموقع	مقاومة الضغط المحورى للعينات اللبية ميجانيوتن / م^{٢} (كجم/سم^{٢})
عالية للغاية Very high strength	عالية المقاومة للغاية ولا يمكن كشط العينة إلا بالأزميل الجيولوجي	أكبر من ٢٠٠ (أكبر من ٢٠٠٠)
عالية to High strength	تحتاج العينة لكسرها إلى طرقات متعددة بالمطرقة الجيولوجية ، والطرق على العينة لا يحدث بها علامة	١٠٠ – ٢٠٠ (١٠٠٠ – ٢٠٠٠)
متوسطة إلى عالية Medium to high strength	متوسطة إلى عالية المقاومة تحتاج العينة لكسرها إلى أكثر من ضربة بالمطرقة الجيولوجية ، والطرق على العينه يحدث علامة أو حفرة	٥٠ – ١٠٠ (٥٠٠ – ١٠٠٠)
متوسطة Moderate strength	لا يمكن تقشيرها بالسكينة ، لا يمكن كسرها بضربة واحدة من المطرقة الجيولوجية	١٢,٥ – ٥٠ (١٢٥ – ٥٠٠)
منخفضة Low strength	ذات مقاومة منخفضة يمكن تقشيرها بالسكين بصعوبة ، طرق العينه بالأزميل الجيولوجي يحدث بها خدش سطحي	٥,٠٠ – ١٢,٥ (٥٠ – ١٢٥)
منخفضة جداً Very low strength	تتهشم العينة نتيجة ضربات قوية بالأزميل الجيولوجي ، يمكن تقشيرها بالسكين ، قابلة للكسر بصعوبة تحت ضغط الأصابع	١,٢٥ – ٥,٠٠ (٥٠ – ١٢,٥)
منخفضة للغاية Extremely soft	يمكن خدشها بالأظافر	أقل من ١,٢٥ (أقل من ١٢,٥)

١٠/٢/٤/٥ درجة التجوية

تتأثر الصخور بالعوامل الجوية من حرارة وأمطار ورياح مما يؤدى إلى تجويتها ، وبالتالي حدوث بعض التغيير فى درجة مقاومة الصخر ولونه وكذلك التركيب الكيميائى. ويمكن تقسيم الصخور من حيث درجة تأثرها بالتجوية إلى ستة مجموعات طبقا للجدول (١٠-٥) .

جدول (١٠- ٥) التصنيف طبقاً لدرجة التجوية

درجة التجوية	الصفة التشخيصية لدرجة التجوية
أصلية التكوين	لايوجد علامات تدل على تحلل أو تغير فى اللون – ينتج عنها رنين عند الطرق عليها
غير مجوى أو طفيف التجوية	تغير طفيف فى اللون تجاه الداخل بالنسبة للأجزاء المكشوفة – خلاف ذلك ينتج عنها رنين عند الطرق عليها
متوسط التجوية	تغير فى اللون من مكان لآخر – تحلل المعادن الضعيفة مثل الفلسبار المقاومة فى أى موضع أقل بالمقارنة بالصخر الأصلى – ولكن العينات المستخرجة منها لايمكن كسرها باليد أو خدشها بالسكين
عالى التجوية	كل المعادن تحللت – يمكن كسرها باليد بمجهود أو خدشها بالسكين – التكوين الحجرى يتكون من كتلة صخرية – النسيج البنائى للصخر موجود
تام التجوية	كل المعادن تحللت إلى تربة والعينات يمكن تفتيتها بسهولة – جزء من النسيج البنائى للصخر مازال موجودا
تربة متبقية	حالة متقدمة من التحلل تنتج تربة لدنة – التركيب النسيجى والبنائى للصخر تهدم تماماً – تغير كبير فى الحجم

١٠/٢/٤/٦ التصنيف طبقاً لحالة التشققات

يوضح الجدول رقم (١٠-٦) التصنيف طبقاً لحالة التشـــققات fracture state فى الصخر. ويعتبر معامل جودة الصخر RQD (بند ١٠/٤/٤/١) مقياسا لحالة التشققات. ويمكن تعيين دليل يوضح حالة التشققات بالموقع وذلك بتحديد النسبة بين سرعة الموجات السيزمية فى الموقع ونظائرها بالمعمل .

جدول (١٠-٦) التصنيف طبقا لحالة التشققات

معامل جودة الصخر RQD (%)	معاير السرعة (*)	التصنيف (الجودة)
١٠٠ -٩٠	١,٠٠ -٠,٨	عالي الجودة (ممتاز)
٩٠ -٧٥	٠,٨ -٠,٦	قليل التكسير (جيد)
٧٥ -٥٠	٠,٦ -٠,٤	متوسط التكسير (مقبول)
٥٠ -٢٥	٠,٤ -٠,٢	ضعيف الجودة (ضعيف)
صفر- ٢٥	٠,٢ -٠,٠	عالي التكسير (ضعيف جدا)

$$(*)\text{معايير السرعة} = \left[\frac{\text{سرعة موجات الضغط مقاسة فى الموقع}}{\text{سرعة موجات الضغط مقاسة فى المعمل}}\right]^{٢}$$

١٠/٤/٢/٧ الفواصل ومستويات عدم الاتصال

الفواصل ومستويات عدم الاتصال تؤثر على سلوك الكتلة الصخرية حيث تعتبر مناطق ضعف فيها مما يؤدى إلى تقليل القدرة على مقاومة الانهيار للكتلة الصخرية ، وتصنف الفواصل كما يلى:-

١٠/٤/٢/٧(أ) المسافة البينية

المسافة البينية Spacing الأفقية بين فاصلين متتالين تعبر عن مدى التباعد بين فواصل الكتلة الصخرية وجدول (١٠- ٧ أ) يبين تصنيف المسافة البينية ، وجدول (١٠- ٧ ب) يبين العلاقة بين حجم بلوكات الصخر والمسافات البينية .

١٠/٤/٢/٧(ب) فتحة الفاصل

فتحة الفاصل aperture هى المسافة العمودية بين حائطى الفاصل وهى تدل على مدى التباعد بين حائطى الفاصل والتى قد تملأ بالماء أو أى مادة من المواد الناعمة وهى تؤثر بشكل كبير على نفاذية الكتلة الصخرية. وجدول (١٠- ٧ ج) يوضح الصور المختلفة والتوصيف التى

تتواجد عليها أسطح عدم الاتصال . ويقاس اتجاه الفاصل orientation منسوباً لاتجاه الشمال الجغرافى باستخدام البوصلة الجيولوجية. وتكمن أهمية اتجاه الفاصل عند تأثيره على مستوى القطع الصخرى وتتكون كتلة انهيارية حسب اتجاه الفاصل مع اتجاه سطح القطع .

جدول (١٠- ٧ أ) المسافة البينية بين أسطح عدم الاتصال

المسافة البينية (متر)	وصف الصخر	
أكبر من ٢,٠٠ م	شديدة التباعد	Extremely wide
٠,٦٠ م – ٢,٠٠ م	متباعدة جداً	Very wide
٠,٢٠ – ٠,٦٠ م	متباعدة	Wide
٠,٠٦ – ٠,٢٠ م	متوسطة التباعد	Moderately wide
٠,٠٢ – ٠,٠٦ م	متوسطة التقارب	Moderately Narrow
٠,٠٠٦ – ٠,٠٢ م	متقاربة	Narrow
أقل من ٠,٠٠٦ م	متقاربة جداً	Very narrow

جدول (١٠- ٧ ب) حجم البلوكات الصخرية

المسافات البينية بين أسطح عدم الاتصال المكافئة فى الكتلة الصخرية		حجم الكتلة الصخرية (م٣)	Term	المصطلح
Extremely wide	شديدة التباعد	أكبر من ٨	very large	كبير جداً
very wide	متباعدة جداً	٨ – ٠,٢	large	كبير
wide	متباعدة	٠,٢ – ٠,٠٠٨	medium	متوسط
moderately wide	متوسطة التباعد	٠,٠٠٨ – ٠,٠٠٠٢	small	صغير
less than moderately wide	أقل من متوسطة التباعد	أقل من ٠,٠٠٠٢	very small	صغير جداً

جدول (١٠-٧ج) اتساع الفواصل

درجة الاتساع		اتساع الفواصل (مم)
wide	متسعة	> ٢٠٠
moderately wide	متوسطة الاتساع	٢٠٠ - ٦٠
moderately narrow	متوسطة الضيق	٦٠ - ٢٠
narrow	ضيقة	٢٠ - ٦
very narrow	ضيقة جداً	٦ - ٢
extremely narrow	شديدة الضيق	٢ - صفر
tight	متلامسة أو متلاحمة	< صفر

١٠/٢/٤/٧(ج) درجة خشونة سطح الفاصل

يتم تحديد درجة خشونة الفاصل joint roughness طبقاً للجدول (١٠-٧ د) .

جدول (١٠-٧ د) درجة الخشونة

الدرجة	درجة الخشونة	
١	أملس	polished
٢	به خدوش متوازية أو مصقل	slickensided
٣	ناعم	smooth
٤	خشن	rough
٥	به نتوءات واضحة	defined ridges
٦	مدرج	small steps

١٠/٢/٤/٧ (د) المواد المالئة للفاصل

تعرف المواد المالئة للفاصل joint filling materials بأنها مواد ترسبت داخل فتحة الفاصل، وهـذه المـواد قـد تكون ترسـيبات معدنية (حديد - كلسيت - كوارتز...إلخ). أو مواد فتاتية خشنة من الرمل أو مواد طينية. علماً بأن المواد المالئة تؤثر على درجة ثبات الفاصل فالمواد الطينية من أحد العوامل التى لها تأثير قوى فى عدم ثبات الكتلة الصخرية .

١٠/٢/٤/٧(هـ) امتداد الفاصل

يعرف امتداد الفاصل persistance بأنه امتداد أو طول الفاصل مقاساً فى مستوى معين ويمكن تقديره بقياس طول أثر الفاصل على سطح منكشف وتقسم إلى خمسة مجموعات كما هو موضح بجدول (١٠-٧ هـ).

جدول (١٠-٧ هـ) تصنيف الفواصل تبعاً لدرجة امتدادها

درجة الامتداد	تصنيف الفاصل
أقل من ١ متراً	فواصل ذات امتداد قليل جداً
١ - ٣ متراً	فواصل ذات امتداد قليل
٣ - ١٠ متراً	فواصل ذات امتداد متوسط
١٠ - ٢٠ متراً	فواصل ذات امتداد كبير
أكبر من ٢٠ متراً	فواصل ذات امتداد كبير جداً

والأمثلة التالية توضح عناصر تصنيف الصخور لعدد من الحالات:

حجر رملى :

حجر رملى أصفر فاتح يميل إلى الاحمرار ، متوسط الحبيبات ، متوسط المقاومة ، غير مجوى ، ذو فواصل متباعدة .

حجر جيرى :

حجر جيرى أبيض مائل إلى الاصفرار ، دقيق الحبيبات ، متوسط إلى عالي المقاومة ، متوسط التجوية ، ذو فواصل متقاربة.

جرانيت :

جرانيت أحمر ، كبير التبلور ، متوسط المقاومة ، متوسط التجوية ، ذو فواصل متباعدة .

جرانوديوريت :

صخر نارى رمادى داكن ، متوسط التبلور ، منخفض المقاومة ، عالى التجوية به فواصل ذات امتداد متوسط.

١٠/٤/٣ التصنيف الهندسى للصخر السليم

يلزم دراسة الخصائص الهندسية لمادة الصخر السليم intact rock لاستخدامها فى أغراض التوصيف والتصنيف الجيولوجى ، وكذلك كإحدى المعطيات اللازمة لتصنيف الكتلة الصخرية هندسياً . يمكن تصنيف الصخر السليم طبقاً لخواصه الهندسية مثل مقاومة الضغط غير المحاط unconfined compressive strength والكثافة الجافة والمسامية ومحتوى الكربونات .

١٠/٤/٣/١ التصنيف طبقاً لمقاومة الضغط غير المحاط

يصنف الصخر طبقاً لمقاومة الضغط غير المحاط للعينات اللبية والتى تتدرج من منخفضة جداً إلى عالية المقاومة للغاية ، كما هو موضحاً بالجدول رقم (١٠-٤).

١٠/٤/٣/٢ التصنيف طبقاً للكثافة الجافة والمسامية

يبين الجدول (١٠-٨) تصنيف الصخر السليم طبقاً للكثافة الجافة والمسامية [١٧] .

جدول (١٠-٨) المسامية والكثافة الجافة للصخور

درجة التصنيف	الكثافة الجافة (طن /م^3)	الوصف طبقاً للكثافة الجافة	المسامية (%)	الوصف طبقاً للمسامية
١	أقل من ١,٨٠	منخفضه جداً	أكبر من ٣٠	عالية جداً
٢	٢,٢٠-١,٨٠	منخفضة	٣٠-١٥	عالية
٣	٢,٥٥-٢,٢٠	متوسطة	١٥-٥	متوسطة
٤	٢,٧٥-٢,٥٥	عالية	٥-١	منخفضة
٥	أكبر من ٢,٧٥	عالية جداً	أقل من ١	منخفضة جداً

١٠/٤/٣/٣ التصنيف طبقاً لمحتوى الكربونات

يبين الجدول (١٠-٩) تأثير محتوى الكربونات على تصنيف الصخور الكربوناتية بالنسبة لمحتوى الطين والطمى ومحتوى الطين والرمل السيليسى وكذلك تأثير محتوي الكربون علي درجة تصلب الصخر.

١٠/٤/٤ التصنيف الهندسى للكتلة الصخرية

يجب إعطاء الأهمية الكافية عند القيام بأى عمل هندسى يتعلق بالتأسيس على الصخر أو حفر الأنفاق داخله او تشكيل ميول به ، حيث أن التركيب الجيولوجي geological structure للصخر يتحكم بدرجة كبيرة فى تصرفه . ومن المعروف أن الكتلة الصخرية تنفصل عن بعضها لأسباب عديدة ، إلى مستويات عدم اتصال مثل مستويات التطابق bedding planes ، فواصل ، فوالق ، مستويات انفصال cleavage، مناطق قص shear zones . ووجود هذه المستويات من شأنه إضعاف الكتلة الصخرية rock mass بدرجة كبيرة.

ويوجد هناك العديد من نظم تصنيف الكتلة الصخرية للحكم على جودة الصخر التى تستخدم فى أعمال الأساسات والأنفاق والحفر . وفيما يلى اثنان من أكثر هذه النظم شيوعاً ، وهما معامل جودة الصخر(RQD)، نظام التقييم الجيوميكانيكى(Rock Mass Rating system, RMR) . علما بأن نظام معامل جوده الصخر يدخل ضمن المعلومات اللازمة لاستخدام نظام التقييم الجيوميكانيكى ، والذي يعد أكثر شمولاً و دلالة علي تصرف الصخر.

١٠/٤/٤/١ تصنيف الكتلة الصخرية باستخدام معامل جودة الصخر

يعتبر معامل جودة الصخر Rock Quality Designation (RQD) مقياساً غير مباشر لدرجة تفتت وتجوية الصخر عن طريق حساب مجموع أطوال القطع السليمة من العينة اللبية المستخرجة ، ذات طول ١٠٠ ملليمتر أو أكثر. ويعرف معامل جودة الصخر بأنه النسبة المئوية بين مجموع أطوال القطع السليمة والطول الكلى للعينة اللبية (مشوار أخذ العينة). والجدول (١٠- ١٠) يبين تصنيف الصخر من واقع معامل جودة الصخر. ويجب الإشارة إلى التفرقة بين الكسور فى العينات اللبية نتيجة استخراجها أثناء عمل الجسات أو نتيجة للفواصل الطبيعية . ففى حالة كسر العينة أثناء استخراجها ، تجمع أجزاؤها وتحسب كقطعة واحدة. كذلك يجب الإشارة إلى أن هذه الطريقة ربما تكون غير دقيقة عند تنفيذها مع طبقات رقيقة من الصخور المتحولة foliated metamorphic rocks بالمقارنة بالصخور النارية أو الطبقات السميكة من الصخور الرملية أوالجيرية أو النارية. وبصفة عامة فإن الحساب الدقيق لقيمة معامل جودة الصخر يقتضي استخراج العينات بواسطة الجراب المزدوج double core barrel علي الأقل .

جدول (١٠-٩) تصنيف التربة والصخور طبقاً لمحتوى الكربونات

درجة الصلابة	حجم الحبيبات ٠,٠٠٢مم	٠,٠٠٦مم	٢مم	٦٠ مم	نسبة محتوى الكربونات
تربة	طين كربوناتي	طمي كربوناتي	رمل كربوناتي	زلط كربوناتي	أكبر من ٩٠ %
	طين كربوناتي	طمي كربوناتي سليسي	رمل كربوناتي سليسي	زلط كربوناتي سليسي	٩٠ - ٥٠%
	طين جيري	طمي سليسي جيري	رمل سليسي جيري	زلط سليسي جيري	٥٠ - ١٠%
	طين	طمي سليسي	رمل سليسي	زلط سليسي	أقل من ١٠ %
صخر متوسط الضعف	حجرطيني كربوناتي	حجر طمي كربوناتي	حجر رملي كربوناتي	رصيص كربوناتي	أكبر من ٩٠ %
	حجر طيني جيري سليسي	حجر طمي جيري سليسي	حجر رملي جيري سليسي	رصيص جيري سليسي	٩٠ - ٥٠%
	حجر طيني سليسي جيري	حجر طمي سليسي جيري	حجر رملي سليسي جيري	رصيص سليسي جيري	٥٠ - ١٠%
	حجر طيني	حجر طمي	حجر رملي سليسي	رصيص	أقل من ١٠ %
صخر متوسط الصلابة	حجر جيري دقيق الحبيبات		حجر جيري فتاتي	حجر جيري رصيص	أكبر من ٩٠ %
	حجر جيري طيني دقيق الحبيبات	حجر جيري دقيق الحبيبات	حجر جيري فتاتي سليسي		٩٠ - ٥٠%
	حجر طيني جيري	حجر طمي جيري	حجر رملي جيري	رصيص جيري	٥٠ - ١٠%
	حجر طيني	حجر طمي	حجر رملي	رصيص	أقل من ١٠ %
صخر صلب	حجر جيري متبلور أو رخام				٥٠%

تطبق مصطلحات الصخور المتحولة التقليدية على هذا الجدول

- زلط كربوناتي : حبيبات في مقاس الزلط من أصل صخر الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم)

- رمل كربوناتي : حبيبات في مقاس الرمل من أصل صخر الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم)

رصيص (كونجلوميرات) : Conglomerate

حجر طيني كربوناتي (كلكلوتايت) : Calcilutite

حجر طمي كربوناتي (كالسيسيلايت): Calcisiltite

حجر رملي كربوناتي (كالكارينايت) : Calcarenite

حجر رصيص كربوناتي(كالسيرودايت) : Calcirudite

(١٠-١٠) تصنيف الكتلة الصخرية طبقاً لقيم معامل جودة الصخر

(%) RQD	التصنيف	
صفر – ٢٥	ضعيف جدا	very poor
٢٥ – ٥٠	ضعيف	poor
٥٠ – ٧٥	متوسط	fair
٧٥ – ٩٠	جيد	good
٩٠ – ١٠٠	ممتاز	excellent

١٠/٤/٤/٢ نظام التصنيف الجيوميكانيكى للكتلة الصخرية

وضـــــع نظـــام التصنيف الجيوميكانيكى RMR للكتـــــلة الصخـــــرية [١٧]لاستخدامه فى تصميم الميول والأساسات علي الصخر والأنفاق ، بالإضافة إلى إمكانية تقدير معامل التغير في الشكل modulus of deformation للصخر بالموقع . ويلزم لإجراء هذا التقـــــييم معرفة ســـــتة معاملات هندسية للكتلة الصخرية وهى:

١- مقاومة الضغط غير المحاط للصخر السليم
٢- معامل جودة الصخر
٣- تباعد مستويات عدم الاتصال
٤- حاله مستويات عدم الاتصال
٥- حاله المياه الأرضية
٦- اتجاه مستويات عدم الاتصال

يتم التقييم بتصنيف مبدئى للصخر مع الأخذ فى الاعتبار المعاملات الهندسية الخمسة الأولى السابقة المبينة بعاليه ، وذلك عن طريق إعطاء تقييم لكل من هذه المعاملات وفقا لأهميته كما هو مبين بالجدول (١٠-١١أ) مع مراعاة أنه عند عمل التقييم لكل عينة لبية core sample تؤخذ الحالة المتوسطة وليست الأسوأ ، كما أنه لتقييم تباعد الفواصل يصير تطبيقه لحالة

التكـــوين الصـــخرى الـــذى يحوى على الأقل ثـــــلاث مجموعات من الفواصـــل. وبعد ذلك يعدل التقييم وفقاً لاتجاه مستويات عدم الاتصال بطرح القيمة المناسبة كما هو مبين بالجدول (١٠-١١ب). بعد إجراء التعديل وفقاً لاتجاه مستويات عدم الاتصال يمكن اختيار تقييم التكوين الصخرى كأحد خمس حالات تتراوح بين صخور عالية الجودة very good rock إلى صخور ضعيفة جداً very poor rock ، كما هو مبين بالجدول (١٠-١١ج) وبذلك يمكن الوصول إلى فهم المعنى العملى لكل من التكوينات الصخرية السابقة كما هو مبين بالجدول (١٠-١١ ب، د).

١٠/٤/٥ العلاقة بين طرق ومعدات الحفر وحالة الصخر

تتميز التكوينات الصخرية بالتباين الشاسع فى حالة الكتلة الصخرية باختلاف نوع الصخر ودرجة تجويته ، لذا فان وسائل ومعدات الحفر فى الصخر تتباين بين وسائل ومعدات شديدة التأثير من حيث القدرة على الاختراق والتكسير إلى معدات الحفر العادية المستخدمة فى التربة . وللحصول على أعلى معدلات للحفر بأقل تكلفة، يلزم الأمر استخدام المعدات المناسبة والتى ليست بالضرورة الأكثر قوة أو قدرة على الاختراق وهو أمر يستلزم أن يقوم به متخصص ذو كفاءة عالية وذلك للتقدير الجيد لحالة الصخر من ناحية وأن يكون ذا خبرة كافية بأداء المعدات الخاصة بالحفر ووسائله المختلفة من ناحية أخرى . ويوضح هذا البند العلاقة بين حالة الكتلة الصخرية والطرق والمعدات المختلفة المستخدمة فى تنفيذ أعمال الحفر فى جميع أنواع الصخور الطبيعية (نارية – متحولة – رسوبية) للوصول إلى المناسيب والأبعاد التصميمية المطلوبة . وهذه العلاقة تعتمد على تقدير حالة الكتلة الصخرية باستخدام طريقة معامل التصنيف الجيوميكانيكى (RMR) والتى تأخذ فى اعتبارها العوامل المختلفة المؤثرة على الكتلة الصخرية وبالتالى قابليتها للحفر طبقاً لهذا التصنيف . ويلزم تنفيذ عدد كاف من الجسات بكامل عمق الحفر المتوقع وإجراء الدراسات الحقلية طبقاً لما ذكر فى الباب الثالث ، والاختبارات المعملية المطلوبة كما هى موضحه فى بند (١٠/٤/٦). ويراعى أن تستخدم فى عمل الجسات معدات ذات جراب مزدوج double core barrel على الأقل للحصول على تقديرات واقعية لقيمة معامل جودة الصخر (RQD) ولتسهيل الحصول على عينات لبية جيدة لاختبارها بالمعمل . ويمكن الاسترشاد بجدول (١٠- ١٢) لمعرفة وسيلة الحفر المناسبة بدلالة معامل التصنيف الجيوميكانيكى (RMR) .

التكـــوين الصـــخرى الـــذى يحوى على الأقل ثـــــلاث مجموعات من الفواصـــل. وبعد ذلك يعدل التقييم وفقاً لاتجاه مستويات عدم الاتصال بطرح القيمة المناسبة كما هو مبين بالجدول (١٠-١١ب). بعد إجراء التعديل وفقاً لاتجاه مستويات عدم الاتصال يمكن اختيار تقييم التكوين الصخرى كأحد خمس حالات تتراوح بين صخور عالية الجودة very good rock إلى صخور ضعيفة جداً very poor rock ، كما هو مبين بالجدول (١٠-١١ج) وبذلك يمكن الوصول إلى فهم المعنى العملى لكل من التكوينات الصخرية السابقة كما هو مبين بالجدول (١٠-١١ ب، د).

١٠/٤/٥ العلاقة بين طرق ومعدات الحفر وحالة الصخر

تتميز التكوينات الصخرية بالتباين الشاسع فى حالة الكتلة الصخرية باختلاف نوع الصخر ودرجة تجويته ، لذا فان وسائل ومعدات الحفر فى الصخر تتباين بين وسائل ومعدات شديدة التأثير من حيث القدرة على الاختراق والتكسير إلى معدات الحفر العادية المستخدمة فى التربة . وللحصول على أعلى معدلات للحفر بأقل تكلفة، يلزم الأمر استخدام المعدات المناسبة والتى ليست بالضرورة الأكثر قوة أو قدرة على الاختراق وهو أمر يستلزم أن يقوم به متخصص ذو كفاءة عالية وذلك للتقدير الجيد لحالة الصخر من ناحية وأن يكون ذا خبرة كافية بأداء المعدات الخاصة بالحفر ووسائله المختلفة من ناحية أخرى . ويوضح هذا البند العلاقة بين حالة الكتلة الصخرية والطرق والمعدات المختلفة المستخدمة فى تنفيذ أعمال الحفر فى جميع أنواع الصخور الطبيعية (نارية – متحولة – رسوبية) للوصول إلى المناسيب والأبعاد التصميمية المطلوبة . وهذه العلاقة تعتمد على تقدير حالة الكتلة الصخرية باستخدام طريقة معامل التصنيف الجيوميكانيكى (RMR) والتى تأخذ فى اعتبارها العوامل المختلفة المؤثرة على الكتلة الصخرية وبالتالى قابليتها للحفر طبقاً لهذا التصنيف . ويلزم تنفيذ عدد كاف من الجسات بكامل عمق الحفر المتوقع وإجراء الدراسات الحقلية طبقاً لما ذكر فى الباب الثالث ، والاختبارات المعملية المطلوبة كما هى موضحه فى بند (١٠/٤/٦). ويراعى أن تستخدم فى عمل الجسات معدات ذات جراب مزدوج double core barrel على الأقل للحصول على تقديرات واقعية لقيمة معامل جودة الصخر (RQD) ولتسهيل الحصول على عينات لبية جيدة لاختبارها بالمعمل . ويمكن الاسترشاد بجدول (١٠- ١٢) لمعرفة وسيلة الحفر المناسبة بدلالة معامل التصنيف الجيوميكانيكى (RMR) .

جدول رقم (١٠-١١) التصنيف الجيوميكانيكى للكتل الصخرية (RMR) (بينياوسكى ١٩٨٩)

أ - المعاملات التصنيفية ومقاديرها :

معاملات التصنيف			حدود قيم معامل التصنيف					
١	قوة تحمل عينة الصخر السليمة	مقاومة حمل النقطة (كجم/سم٢)	> ٨٠	٨٠ - ٤٠	٤٠ - ٢٠	٢٠ - ١٠	للقيمة المنخفضة يفضل استخدام اختبار الضغط غير المحاط	
		مقاومة الضغط غير المحاط (كجم/سم٢)	> ٢٠٠٠	٢٠٠٠ - ١٠٠٠	١٠٠٠ - ٥٠٠	٥٠٠ - ٢٥٠	٢٥٠ - ١٠٠	١٠٠ - ٣٠	٣٠ - ١٠
	القيمة النسبية للمعامل		١٥	١٢	٧	٤	٢	١	صفر
٢	معامل جودة الصخر % (RQD)		١٠٠-٩٠	٩٠-٧٥	٧٥-٥٠	٥٠-٢٥	< ٢٥		
	القيمة النسبية للمعامل		٢٠	١٧	١٣	٨	٣		
٣	المسافة بين الفواصل		> ٣ م	١ - ٣ م	٣٠ سم - ١,٠ م	٥٠ - ٣٠٠ مم	< ٥٠ مم		
	القيمة النسبية للمعامل		٣٠	٢٥	٢٠	١٠	صفر		

تابع جدول رقم (١٠-١١) التصنيف الجيوميكانيكى للكتل الصخرية (RMR) (بينياوسكى ١٩٨٩)

أ - المعاملات التصنيفية ومقاديرها :

معاملات التصنيف		حدود قيم معامل التصنيف				
٤	حالة الفواصل	- أسطح خشنة جدا - ليست ممتدة ولا منفصلة - أسطح الفاصل من الصخر الصلب	- قليلة الخشونة - به إنفصال أقل من ١ مم - أسطح الفاصل من الصخر الصلب	- قليلة التعرج أو الخشونة - به إنفصال أقل من ١ مم - أسطح الفاصل من الصخر الضعف	- به خدوش متوازية - مواد ناعمة تملأ الفواصل بسمك أقل من ٥ مم - فتحة الفاصل من ١-٥ مم ولها إمتداد كبير	- مواد ناعمة بسمك أكبر من ٥ مم تملأ الفواصل - فتحة الفاصل أكبر من ٥ مم والفاصل له إمتداد كبير
	القيمة النسبية للمعامل	٢٥	٢٠	١٢	٦	صفر
٥	المياه الجوفية - السريان خلال نفق طوله ١٠ م	لا توجد		٢٥ لتر/ق	٢٥-١٢٥ لتر/ق	> ١٢٥ لتر/ق
	المياه الجوفية - النسبة ضغط المياه بالفاصل إلى الإجهادات الأساسية	صفر		صفر - ٠,٢٠	٠,٢٠ - ٠,٥٠	> ٠,٥٠
	المياه الجوفية - الحالة العامة للمياه الأرضية	جافة تماما		رطبة فقط	ضغط متوسط للمياه	مشاكل مائية خطيرة
	القيمة النسبية للمعامل	١٠		٧	٤	صفر

تابع جدول (١٠-١١) التصنيف الجيوميكانيكى للكتل الصخرية (RMR) (بينياوسكى١٩٨٩)

ب - تعديل قيم التصنيف بالنسبة لاتجاهات الفواصل

مضرب وميل سطح الفاصل		ملائم جداً	ملائم	حرج	غير ملائم	شديد الخطورة
القيمة النسبية للمعامل	أنفاق	صفر	- ٢	- ٥	- ١٠	- ١٢
	أساسات	صفر	- ٢	- ٧	- ١٥	- ٢٥
	ميول	صفر	- ٥	- ٢٥	- ٥٠	- ٦٠

ميل ملائم: ميل في اتجاه لا يسبب خطورة (favorably oriented)

ج - تحديد درجات تصنيف الكتل الصخرية وفقا لمجموع معاملات التصنيف

القيمة النسبية للمعامل	٨١-١٠٠	٦١ - ٨٠	٤١ - ٦٠	٢١ - ٤٠	< ٢٠
درجة التصنيف	١	٢	٣	٤	٥
الوصف	صخر جيد جدا	صخر جيد	صخر متوسط الجودة	صخر ضعيف	صخر ضعيف جدا

د - المعنى الهندسى لدرجات تصنيف الكتل الصخرية

درجة التصنيف	١	٢	٣	٤	٥
*متوسط زمن الصمود للكتلة الصخرية	١٠ سنوات لبحر مقداره ٥ م	٦ شهور لبحر مقداره ٤ م	أسبوع واحد لبحر مقداره ٣م	٥ ساعات لبحر مقداره ١,٥م	١٠ دقائق لبحر مقداره ٠,٥٠ م
تماسك الكتلة الصخرية (c) (كجم/سم٢)	> ٣	٢ - ٣	١,٥ - ٢,٠	١,٠ - ١,٥	< ١
زاوية مقاومة القص للكتلة الصخرية(ϕ)	°٤٥ <	°٤٠ - °٤٥	°٣٥ - °٤٠	°٣٠ - °٣٥	°٣٠ >

* معامل يستخدم في أعمال تدعيم الأنفاق

جدول (١٠-١٢) العلاقة بين معامل التصنيف الجيوميكانيكي (RMR) ووسيلة الحفر المناسبة

معامل التصنيف الجيوميكانيكي (RMR)	١٠٠-٨١	٨٠-٦١	٦٠-٣١	٣٠-٢١	صفر-٢٠
وسيلة الحفر المناسبة	تفجير	تفجير/شواكيش	بلدوزر مزود بسلاح ripper	بلدوزر عادي	حفار/أودر

العلاقة السابقة يعمل بها على سبيل الإسترشاد فقط ولكنها تعتبر ذات فائدة فى عمل تقدير مبدئى للكميات المرتبطة بأعمال الحفر فى الصخور . إلا أنه من المسلم به أنه يتعذر دائماً تحديد وسيلة أو معدات الحفر اللازمة بدقة عالية من البيانات المحدودة التى تتوفر من الجسات أو من فحص التكوينات الصخرية بالموقع . لذا فان الطريقة المثلى لتحديد الوسيلة المناسبة للحفر فى الصخر هى عمل إختبارات أداء لمعدات حفر مختلفة بالموقع ، مع مراعاة أن الوسائل أو المعدات قد تختلف باختلاف عمق الحفر نتيجة تغير حالة الكتلة الصخرية مع العمق .

٦/٤/١٠ الإختبارات المعملية لمادة الصخر

يلزم إجراء الإختبارات المعملية التالى ذكرها (انظر الجزء الثاني من الكود المصرى لميكانيكا التربة و تصميم وتنفيذ الأساسات – رقم كودي ٢/٢٠٢) لتوصيف وتصنيف الصخر ، ولإيجاد معاملات التصميم .

(أ) **لتحديد الخواص الطبيعية** : الكثافة density ، ومحتوى الرطوبة water content ، والمسامية prosity ، و الامتصاص absorption ، والكثافة النوعية specific gravity ، الوصف المجهرى لقطاعات الصخور Micro-petrographic descriptions .

(ب) **لتحديد مقاومة الصخر**: اختبار الضغط غير المحاط أو المحوري Uniaxial compression ، القص المباشر Direct shear ، الضغط ثلاثي المحاور Triaxial compression ، والشد المباشر Direct tension ، والشد غير المباشر Brazilian split ، وحمل النقطة Point load . وتجري هذه الأختبارات لتحديد مقاومة الصخر strength .

(جـ) **لتحديد التشكل لمادة الصخر** : يجري اختبار الضغط المحوري والضغط ثلاثي المحاور ، والإنتفاش swell ، والزحف creep .

(د) **لتحديد نفاذية مادة الصخر**: قياس السرعة فوق الصوتية sonic velocity ، والمقاومة للبرى abrasion resistance ، وفقدان القوام slake durability ، إختبار الصلابة rebound . هذا بالإضافة للاختبارات المذكورة في (أ).

١٠/٥ الأساسات الضحلة

١٠/٥/١ مقدمـــــة

يختص هذا الباب بتقديم طرق التحليل المستخدمة فى حالة الأساسات الضحلة علـــى الصـــخور و يستعرض الباب طرق حساب إجهاد التحمل الأقصـــى ultimate bearing stress وإجهـــاد التحمل المسموح به allowable bearing stress بعد عرض أنماط الانهيـــار فـــى الحـــالات المختلفة التى ترتكز عليها الأساسات الضحلة. كما يعرض الباب طرق حساب الهبوط الناشئ عن اجهادات التأسيس ومعاملات الأمان الواجب أخذها في الاعتبار عند التصميم.

١٠/٥/٢ قدرة التحمل الرأسية

إن العوامل الرئيسية التى تتحكم فى تصميم الأساسات الضحلة على الصخور بدرجة كبيرة هـــى مقدار الهبوط ودرجة الثبات ضد الانزلاق أو الانقلاب. إلا أنه يلزم أيضا لاستكمال التصـــميم أن يتم تقدير قدرة تحمل الكتلة الصخرية فى ضوء الأنماط المختلفـــة للانهيـــار و قـــدرة التحمـــل للأساسات bearing capacity والمرتبطة بطبيعة الكتلة الصخرية كما هو موضح فيما بعد.

١٠/٥/٢/١ أنماط الانهيار في الصخر أسفل الأساسات

تعتمد قدرة التحمل للأساسات المرتكزة على كتلة صخرية على طبيعة الفواصل الصخرية مـــن حيث المسافة بينها بالنسبة لعرض الأساس وكذلك اتجاهات الفواصل وحالتها ومقـــدار اتســـاعها بالإضافة إلى نوع الصخر نفسه . ويبين الشكل (١٠-١) الأشكال النمطية لانهيار قدرة التحمـــل المرتبطة بالعوامل السابق ذكرها [١] .

١٠/٥/٢/١(أ) أنماط الانهيار في الصخر المصمت

يعتبر الصخر مصمتا إذا زادت المسافة بين الفواصل به عن خمس مرات عرض الأساس بحيث لا تصبح اتجاهات الفواصل أو حالتها ذات أهمية . فى مثل هذه الحـــالات يوجـــد نوعـــان مـــن الانهيارات هما الانهيار الـــقصف brittle والانهيار الـــمطيل ductile كما هو مبين بالشـــكلين (١٠- ١أ) و(١٠- ١ب).

يحدث الانهيار القصف فى صورة انهيار قص موضعى local shear failure عنـــد حـــواف الأساس (خاصة الجاسئ) نتيجة لتهشم موضعى localized crushing مما يتسبب فى تكون

أسافين wedges وأسطح انهيار . وأسطح الانهيار فى هذه الحالة لا تمتد إلى سطح الأرض على جانبى الأساس وإنما تنتهى داخل الكتلة الصخرية . ويحدث انهيار القص الموضعى عادة فى الصخور القصفة والتى تتميز بوجود قيمة قصوى عالية للمقاومة peak strength بالنسبة لقيم المقاومة التى تليها عند زيادة التشكل أثناء اختبارات مقاومة القص.

أما الانهيار المطيل فإنه يحدث فى صورة انهيار قص شامل general shear failure يبدأ أيضا عند حواف الأساس إلا أن أسطح الانزلاق تمتد وينتج عنها أسافين انزلاق واضحة تمتد حتى سطح الأرض . وهذا النوع من الانهيار يحدث فى الصخور المطيلة وهى التى لا يظهر لها قيمة قصوى واضحة فى اختبار مقاومة القص .

١٠/٥/٢/١(ب) أنماط الانهيار في الصخر ذي الفواصل

تختلف أنماط انهيارات قدرة التحمل فى الصخور ذات الفواصل باختلاف المسافة بين هذه الفواصل واتجاهاتها وحالتها . ففى حالة الصخور ذات الفواصل المتقاربة وشبه الرأسية يحدث نوعان من الانهيار كما هو مبين بالشكلين (١٠- ١ج) ، (١٠- ١د) للفواصل المفتوحة والمغلقة .

أما في حالة الفواصل المفتوحة فتكون قوى الدعم الجانبى قليلة وبالتالى يحدث الانهيار بالضغط compressive failure للأعمدة الصخرية منفردة . أما الفواصل المغلقة فإن قوى الدعم الجانبى تكون عالية وبالتالى فإن نمط الانهيار المتوقع يكون هو انهيار القص الشامل .

إذا كانت الصخور ذات فواصل شبه رأسية ولكنها متباعدة (بحيث تزيد المسافة بينها عن عرض الأساس) فيتوقع أن يبدأ الانهيار بحدوث انفصال splitting يؤدى فى النهاية إلى انهيار قص شامل أيضا كما هو مبين بالشكل (١٠-١ هـ) ، أما الصخور ذات الفواصل متوسطة الميل (٢٠° - ٧٠° مع الأفقى) بالنسبة لسطح التأسيس فإن نمط الانهيار المحتمل أيضا هو انهيار قص عام شكل(١٠- ١و) وفى الغالب فإن بعض هذه الفواصل ستكون فى اتجاه متوافق مع أحد اتجاهات أسطح الانهيار التى تشكل إسفين الانزلاق .

١٠/٥/٢/١(ج) أنماط الانهيار في الصخر متعدد الطبقات

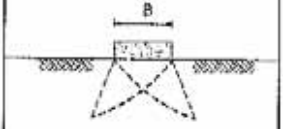
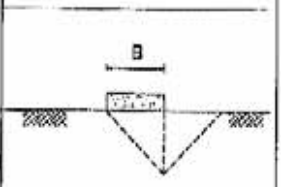
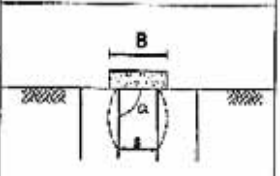
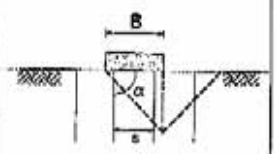
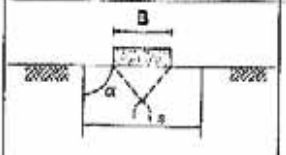
يختص هذا الجزء بالصخور ذات الطبقات المتعددة والمختلفة الخواص وبحيث يقل ميل سطح التطابق عن ٢٠° مع الأفقى وتعتبر أنماط انهيار الصخور فى هذه الحالة معقدة. وتوضح الأشكال (١٠-١ز) و (١٠-١ح) نمط الانهيار فى حالتين توجد فيهما طبقة صخرية جاسئة فوق طبقة صخرية ضعيفة . ففى الحالة الأولى حيث تكون الطبقة الجاسئة ذات سمك كبير بالنسبة لعرض الأساس يحدث انهيار بالشد tensile failure نتيجة لانحناء الطبقة الجاسئة أما فى الحالة الثانية حيث يكون سمك الطبقة الجاسئة قليل بالنسبة لعرض الأساس فإن انهيار الشد يحدث نتيجة لآلية الثقب punching خلال الطبقة الجاسئة الرقيقة . ومقدار السمك H الذى يمثل الحد الفاصل بين نمطى الانهيار المذكورين يعتمد على خواص كل من الطبقتين الجاسئة والضعيفة .

١٠/٥/٢/١(د) أنماط الانهيار في الصخر عالى التشقق

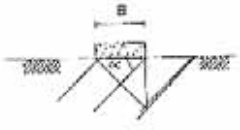
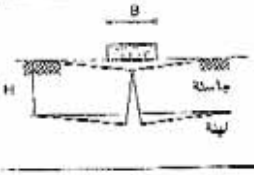
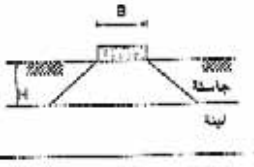
تعتبر الكتلة الصخرية عالية التشقق highly fractured إذا احتوت على مجموعتين أو أكثر من الفواصل المتقاربة (بالنسبة لعرض الأساس) كما هو مبين بالشكل (١٠- ١ ط)، ويشبه سلوك الكتل الصخرية عالية التشقق سلوك الرمل أو الزلط الكثيف ، وبالتالى فإن نمط الانهيار فيها يكون من نوع انهيار القص الشامل .

١٠/٥/٢/١(هـ) أسباب ثانوية لانهيار الصخر

توجد عوامل أخرى يمكن أن تؤدى إلى حدوث الانهيار للصخر أسفل الأساس مثل حدوث تفاعلات عدوانية aggressive reactions داخل معادن الصخر أو مع العناصر الكيميائية بالمياه الجوفية أو السطحية . فمن الممكن أن يفقد الصخر مقاومته مع الوقت (مثل صخور الشيل shale الطينية) ، كما يمكن أن تتضاءل مساحة التحميل بين الأساس والصخر بسبب تآكل الأساس نتيجة للتفاعل الكيميائى مع المياه الجوفية أو السطحية أو بسبب قابلية بعض الصخور للذوبان ، كما يمكن أن تزيد الإجهادات بسبب قابلية الانتفاش لبعض معادن الصخر. ويجب التعرف على هذه المؤثرات أثناء مرحلة استكشاف الموقع للتقليل من آثارها.

رقم معادلة قدرة التحمل	نمط الانهيار	شكل الانهيار	حالة الكتله الصخرية			
			مسلسل		ميل الفواصل	المسافة بين الفواصل
١٠-٤	لصخر قصف انهيار قص موضعي نتيجة لشروخ موضعية قصفة Brittle Rock : Local shear failure caused by localized brittle fracture		صخر متصدع (بدون فواصل)	م	ـــــ	اكبر من عرض القاعده (S>>B)
١٠-١	لصخر مطيل انهيار قص شامل مع سطح انهيار جيد التعريف Ductile Rock : General shear failure along well defined failure surfaces.			ب		
١٠-٥	فواصل مفتوحة انهيار انضغاطي للاعمدة الصخرية المحصورة بين الفواصل الرأسية Open Joints: Compressive failure of individual rock columns. Near vertical joint set (s)		صخر ذو فواصل شبه رأسية	ج	٧٠° - ٩٠°	أقل من عرض القاعدة (S<B)
١٠-١	فواصل مقفلة انهيار قص شامل على امتداد سطح انهيار محدد Closed Joints : General shear failure along well defined failure surfaces near vertical joint set (s)			ب	٧٠° - ٩٠°	أقل من عرض القاعدة (S<B)
١٠-٦	فواصل مفتوحة او مقفلة انهيار يبدأ بانفصال (SPLITTING) يتطور إلى انهيار قص شامل Open or Closed Joints : failure initiated by splitting leading to general shear failure near vertical joint set (s)			ط	٧٠° - ٩٠°	اكبر من عرض القاعدة (S>B)

شكل (١٠- ١) أشكال نمطية لانهيار قدرة التحمل

رقم معادلة قدرة التحمل	نمط الانهيار	شكل الانهيار	حالة الكتلة الصخرية: المسافة بين الفواصل	حالة الكتلة الصخرية: ميل الفواصل	حالة الكتلة الصخرية: السمك
٣-١٠	فواصل متوسطة الميل انهيار قص شامل مع احتمال حدوث انهيار على امتداد الفواصل Moderately dipping joint set (s) General shear failure with potential for failure along joints		الأقل من عرض القاعدة أو أكبر من عرض القاعدة مع تطابق سطح الانهيار مع الفواصل	٢٠° - ٧٠°	صخر ذو فواصل مائلة
-	الطبقة العلوية الجاسئة سميكة يبدأ الانهيار بانهيار شد نتيجة لانحناء الطبقة الجاسئة العلوية Thick Rigid Upper Layer : Failure is initiated by tensile failure caused by flexure of thick rigid upper layer		قيمة المقدار $\frac{H}{B}$ الفاصلة بين المناطق تعتمد على خواص الطبقات الصخرية	صفر - ٢٠°	صخور متعددة الطبقات
-	الطبقة العلوية الجاسئة رقيقة يبدأ الانهيار بتثقب للطبقة الجاسئة الرقيقة Thin Upper Rigid Layer : Failure is initiated by punching tensile failure of the thin rigid upper layer.				
٣-١٠	صخر عالي التشقق انهيار قص شامل مع اسطح انهيار متصرجة داخل الكتلة الصخرية ويحدث ذلك عند وجود مجموعتين او اكثر من الفواصل الصخرية Two or more closely spaced joint sets. General shear failure with irregular failure surface through rock mass.		اقل بكثير من العرض B (S<< B)	----	صخر عالي التشقق (FRACTURED)

تابع شكل (١٠ - ١) أشكال نمطية لانهيار قدرة التحمل

٢/٢/٥/١٠ طرق حساب قدرة التحمل

توجد عدة طرق لتعيين قدرة التحمل للأساسات المرتكزة على صخر منها الطرق التحليلية والطرق التقليدية باستخدام معادلات قدرة التحمل bearing capacity 0equations واختبارات التحميل بالموقع . والطريقة الأخيرة تعتبر قليلة الاستخدام بصفة عامة بسبب ارتفاع

تكلفتها من ناحية وبسبب التساؤلات المثـارة حولها دائما من حيث تأثيـر النسبة المقياسية scale factor .

١٠/٥/٢/٢(أ) تعريفات

(أ-١) **قدرة التحمل القصوى** ultimate bearing capacity هى القيمـة المتوسـطة للحمـل الموزع على وحدة المساحات اللازم لإحداث انهيار بالقص فى الكتلة الصخرية التـى يرتكـز عليها الأساس .

(أ-٢) **إجهاد التأسيس المسموح به** allowable bearing capacity هو القيمـة القصـوى للإجهاد المسموح به على الأساس الصخرى أخذا فى الاعتبار كل العوامل المؤثرة ومع تـوفير قدر كاف من الأمان لمنع حدوث انهيار فى الكتلة الصخرية أو حركة كبيرة تؤثر علـى كفـاءة عمل المنشأ .

١٠/٥/٢/٢(ب) الطرق التحليلية لحساب قدرة التحمل القصوى

توجد عدة طرق تحليلية لحساب قدرة التحمل القصوى ، والأكثر شيوعا منهـا همـا طريقتـا الاتزان الحدى limit equilibrium والعناصر المحددة finite elements.

(ب-١) طريقة الاتزان الحدى

هى طريقة تحليلية تصلح للتعامل مع الحالات التى يحدث فيها انهيار لقدرة التحمل عن طريـق تكون أسافين انهيار قصى شامل general wedge type shear failure مثل تلك الموضـحة بالأشكال (١٠-١ ب ، د ، و ، ط) .

(ب-٢) طريقة العناصر المحددة

هى طريقة مفضلة عند التعامل مع أساسات أو أحمال ذات شكل غير نمطى أو غير عادى وكذلك عند التعامل مع كتلة صخرية ذات خصائص متباينة بدرجة عالية مثل التعامـل مـع طبقـات صخرية ذات خصائص انضغاطية شديدة التباين مثل ماهو موضح بالأشكال (١٠-١ ز ، ح) .

ورغم أن العيب الأساسى فى هذه الطريقة أنها لاتعطى قيمة مباشرة لقـدرة التحمـل أو معامـل الأمان بل يلزم استنباط ذلك من تحليل نتائج الإجهاد والانفعال فى ضوء معيار مناسب للانهيار ، إلا أن هذه الطريقة لها ميزة أساسية من حيث تحديد العلاقة بين تشكل الصخر وهبوط الأساسات.

١٠/٥/٢/٢(ج) معادلات حساب قدرة التحمل القصوى

يوجد عدد من هذه المعادلات التى تعطى قيمة مباشرة للقيمة القصوى لقدرة التحمل [١]. وبصفة عامة فإن هذه المعادلات تمثل تقريبات وضعية empirical أو شبه وضعية للقيمـة القصـوى للتحمل وتعتمد على نمط الانهيار المحتمل وخواص المادة . لذا فإن اختيار المعادلـة المناسـبة

يستلزم توقع نمط الانهيار المحتمل ، والمعادلات الموضحة فيما بعد معطاة طبقاً لنمط الانهيار المحتمل والذى تم توضيحه في الشكل (١٠-١).

(ج-١) انهيار قص شامل

وهو نمط انهيار تمثله المعادلة التالية:

$$q_{ult} = c\, N_c\, \lambda_c + \gamma\, D\, N_q + 0.5\, \gamma\, B\, N_\gamma\, \lambda_\gamma \qquad (١٠-١)$$

حيث:

q_{ult} القيمة القصوى لقدرة التحمل

γ القيمة الفعالة لوزن وحدة الحجوم

B عرض الأساس

D عمق التأسيس أسفل سطح الأرض

c مقدار التماسك للكتلة الصخرية ويمكن تعيينها من الجدول (١٠-١١د) أو من المعادلة الآتية:

$$c = \frac{q_u}{2\tan(45+\varphi/2)}\, e^{(RMR\ -\ 100)/9} \qquad (١٠-٢)$$

أما المعاملات N_γ ، N_q ، N_c فيتم تعيينها من المعادلات التالية :

$$N_c = 2\,(N_\varphi + 1)\, N_\varphi^{0.5} \qquad (١٠-٣أ)$$

$$N_q = N_\varphi^{2} \qquad (١٠-٣ب)$$

$$N_\gamma = (N_\varphi^{2} - 1)\, N_\varphi^{0.5} \qquad (١٠-٣ج)$$

$$N_\varphi = \tan^{2}(45 + \varphi/2) \qquad (١٠-٣د)$$

حيث:

φ زاوية مقاومة القص للكتلة الصخرية ويتم تقديرها باستخدام الجدول (١٠- ١١ د) أو من اختبارات معملية علي قطع صخرية تحتوي علي فواصل طبيعية أو صناعية حسب حالة الفواصل.

λ_c، λ_γ معاملات تصحيح تعتمد علي شكل الأساس كما هو مبين بالجدول (١٠-١٣)

q_u مقاومة الكسر غير المحاط

RMR معامل التصنيف الجيوميكانيكى للكتلة الصخرية (جدول ١٠-١٢)

جدول(١٠-١٣) معاملات التصحيح لشكل الأساس

شكل الأساس	معامل التصحيح λ_c	معامل التصحيح $\lambda\gamma$
مستدير	١,٢٠	٠,٧٠
مربع	١,٢٥	٠,٨٥
مستطيل : L/B = 2	١,١٢	٠,٩٠
مستطيل : L/B = 5	١,٠٥	٠,٩٥
مستطيل : L/B = 10	١,٠٠	١,٠٠

ملحوظة: في حالة قيم L/B مختلفة عن الموضح عاليه، تحسب قيم المعاملات λ_c ، λ_γ المناظرة بالنسبة والتناسب .

وتعتبر المعادلة (١٠-١) صالحة للتطبيق لأنماط الانهيار التي يدخل فيها التماسك والاحتكاك كمعاملات قص ، وبالتالي فإنها تصلح للتطبيق في الحالات الموضحة بالشكلين (١٠-١ب) ، (١٠-١د).

(ج-٢) انهيار قص عام بدون تماسك

فى حالة حدوث انهيار القص على امتداد مستويات انفصال أو داخل كتلة صخرية عالية التشقق highly fractured مثل الحالات الموضحة بالأشكال (١٠-١و) أو (١٠-١ط) فإنه لا يمكن الاعتماد على قيمة التماسك فى مقاومة القص وفى مثل هذه الحالات يتم حساب q كالتالى :

$$q_{ult} = \gamma D N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \lambda_\gamma \qquad (٤-١٠)$$

(ج-٣) انهيار قص موضعى local shear failure

ويحدث هذه النوع من الانهيار فى الحالة الخاصة التى لا يمتد فيها سطح الانهيار إلى سطح الأرض كما هو موضح بالشكل (١٠-١أ) وفى هذه الحالة يكون تأثير عمق التأسيس ضعيفاً نسبياً وتحسب القدرة القصوى للتحمل كالتالى :

$$q = cN_c \lambda_c + 0.5\ \gamma B N_\gamma \lambda_\gamma \qquad (١٠-٥)$$

(ج-٤) انهيار انضغاطى compressive failure

وهو انهيار يحدث نتيجة لقلة الدعم الجانبى لعمود الصخر مثل ما هو موضح بالشكل (١٠-١ ج) . ونمط الانهيار فى هذه الحالة شبيه بما يحدث فى اختبار الضغط غير المحاط unconfined compression ، وتحسب q كالتالى :

$$q_{ult} = 2c \tan\left(45 + \varphi/2\right) \qquad (١٠-٦)$$

ج-٥) انهيار انفلاقى splitting failure

فى حالة الفواصل الرأسية المتباعدة يبدأ الانهيار عادة أسفل الأساس كما هو موضح بالشكل (١٠-١هـ) وفى هذه الحالة يمكن حساب q من المعادلات التالية :

للأساس المستدير :

$$q_{ult} = J.c.N_{cr} \qquad (١٠-٧أ)$$

للأساس المربع :

$$q_{ult} = 0.85\,J.c.N_{cr} \qquad (١٠-٧ب)$$

حيث :

J معامل تصحيح يعتمد على سمك الطبقة الصخرية وعرض الأساس وتحدد قيمته من الشكل (١٠-٢) .

أما معامل قدرة التحمل N_{cr} فيمكن حسابه من الشكل (١٠-٣) أو من المعادلة التالية :

$$N_{cr} = \frac{2N_{\varphi}^{2}}{1+N_{\varphi}}(\cot\varphi)\left(\frac{S}{B}\right)\left(1-\frac{1}{N_{\varphi}}\right) - N_{\varphi}(\cot\varphi) + 2N_{\varphi}^{0.5} \qquad (ج٧-١٠)$$

حيث :

S المسافة بين الفواصل بالكتلة الصخرية أسفل الأساس.

١٠/٢/٥/٣ حساب قيم قدرة التحمل الرأسية المسموح بها

سبق تعريف قدرة التحمل المسموح بها فى البند ١٠/٢/٥/٢(أ) من حيث كونها القيمة القصوى لجهد التأسيس المسموح بها. وهذه القيمة القصوى من شأنها أن توفر هامش أمان كاف بالنسبة لانهيار قدرة التحمل وكذلك الهبوط . غير أنه من مقتضيات الحرص فى التصميم يجب بعد تحديد قدرة التحمل المسموح بها عمل حسابات منفصلة للتأكد من أن قيمة الهبوط النسبى مازالت فى الحدود المسموح بها للمنشأ . ويمكن علي سبيل الاسترشاد ، أخذ قيم الهبوط المسموح بها فى حالة التأسيس علي الرمل (الجزء الثالث من الكود المصري رقم ٣/٢٠٢ – بند ٦/٦/٢/٣) بشرط ألا يكون الصخر معرضاً لتشكل معتمد علي الزمن time-dependant deformation من تضاغط consolidation أو انتفاش swelling أو زحف creep . علي أنه يجب في جميع الأحوال التأكد من أن الهبوط الكلي والهبوط النسبي في حدود المسموح به للمنشأ حسب طبيعته واستعماله علي المدى القصير والمدى الطويل لجميع ظروف التحميل.

١٠/٢/٥/٣(أ) معامل الأمان

تعرف قدرة التحمل المسموح بها ، q_a (من حيث مقاومة الكتلة الصخرية للقص) بأنها القيمة القصوى للتحمل q مقسومة على معامل أمان (FS) :

$$q_a = q \ / \ FS \qquad (٨-١٠)$$

حيث يأخذ معامل الأمان فى الاعتبار التغيرات فى أحمال المنشأ من ناحية وفى نمط الانهيار المحتمل والظروف الفعلية للتأسيس من ناحية أخرى . ويجب أن تكون القيمة المتوسطة للاجهادات المؤثرة على الصخر تساوى أو تقل عن قدرة التحمل المسموح بها طبقاً للمعادلة التالية :

$$Q / BL \leq q_a \qquad (٩-١٠)$$

$$N_{cr} = \frac{2N_{\varphi}^{2}}{1+N_{\varphi}}(\cot\varphi)\left(\frac{S}{B}\right)\left(1-\frac{1}{N_{\varphi}}\right) - N_{\varphi}(\cot\varphi) + 2N_{\varphi}^{0.5} \qquad (ج٧-١٠)$$

حيث :

S المسافة بين الفواصل بالكتلة الصخرية أسفل الأساس.

١٠/٢/٥/٣ حساب قيم قدرة التحمل الرأسية المسموح بها

سبق تعريف قدرة التحمل المسموح بها فى البند ١٠/٢/٥/٢(أ) من حيث كونها القيمة القصوى لجهد التأسيس المسموح بها. وهذه القيمة القصوى من شأنها أن توفر هامش أمان كاف بالنسبة لانهيار قدرة التحمل وكذلك الهبوط . غير أنه من مقتضيات الحرص فى التصميم يجب بعد تحديد قدرة التحمل المسموح بها عمل حسابات منفصلة للتأكد من أن قيمة الهبوط النسبى مازالت فى الحدود المسموح بها للمنشأ . ويمكن علي سبيل الاسترشاد ، أخذ قيم الهبوط المسموح بها فى حالة التأسيس علي الرمل (الجزء الثالث من الكود المصري رقم ٣/٢٠٢ – بند ٦/٦/٢/٣) بشرط ألا يكون الصخر معرضاً لتشكل معتمد علي الزمن time-dependant deformation من تضاغط consolidation أو انتفاش swelling أو زحف creep . علي أنه يجب في جميع الأحوال التأكد من أن الهبوط الكلي والهبوط النسبي في حدود المسموح به للمنشأ حسب طبيعته واستعماله علي المدى القصير والمدى الطويل لجميع ظروف التحميل.

١٠/٢/٥/٣(أ) معامل الأمان

تعرف قدرة التحمل المسموح بها ، q_a (من حيث مقاومة الكتلة الصخرية للقص) بأنها القيمة القصوى للتحمل q مقسومة على معامل أمان (FS) :

$$q_a = q \ / \ FS \qquad (٨-١٠)$$

حيث يأخذ معامل الأمان فى الاعتبار التغيرات فى أحمال المنشأ من ناحية وفى نمط الانهيار المحتمل والظروف الفعلية للتأسيس من ناحية أخرى . ويجب أن تكون القيمة المتوسطة للاجهادات المؤثرة على الصخر تساوى أو تقل عن قدرة التحمل المسموح بها طبقاً للمعادلة التالية :

$$Q / BL \leq q_a \qquad (٩-١٠)$$

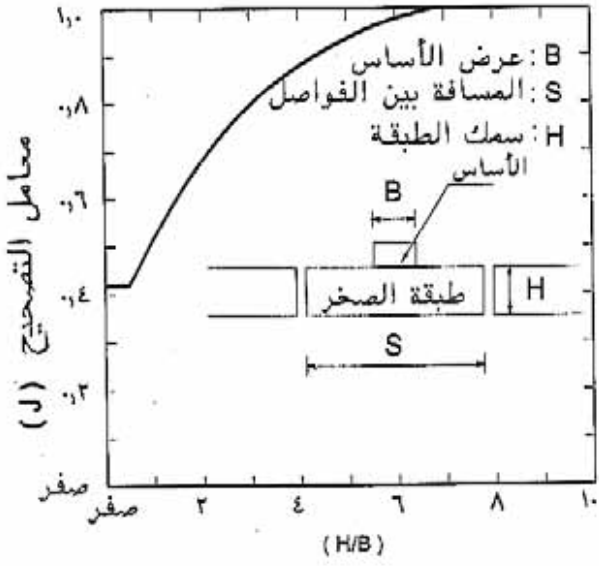
حيث :

Q هى القيمة الإجمالية للمحصلة الرأسية المحورية concentric للقوى المؤثرة على المنشأ .

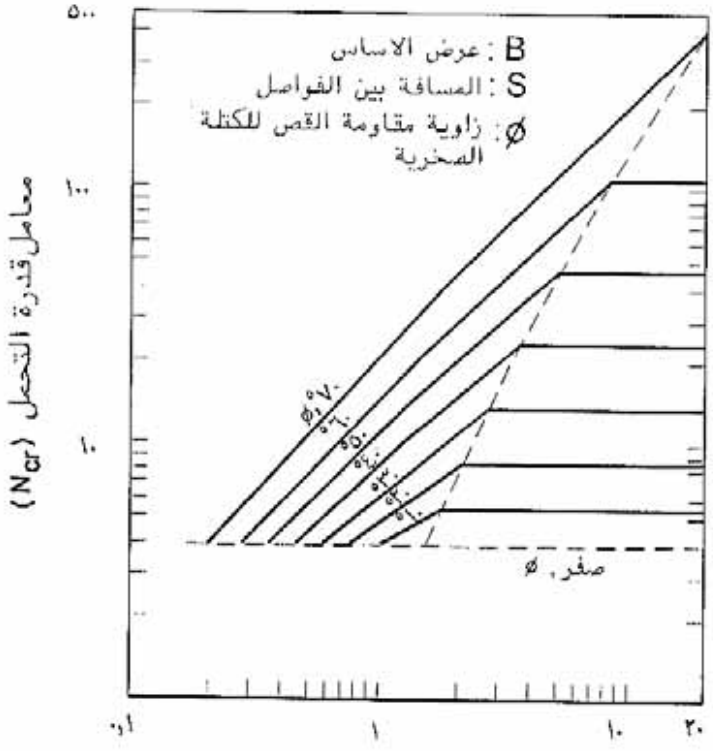
B,L أبعاد الأساسات.

أما فى حالة القوى الرأسية غير المحورية eccentric فتستخدم الأبعاد المؤثرة **(L′,B′)** والتى تساوى الأبعاد الحقيقية مطروحا منها ضعف مقدار الإزاحة **(2e)** .

ويجب ألا تقل قيمة معامل الأمان عن ٣ مع الأخذ فى الاعتبار القيمة الكاملة للحمل الميت والحمل الحى عند حساب **Q** .



شكل (١٠-٢) معامل التصحيح (J) فى معادلات (١٠-٧) لحساب قدرة التحمل فى حالة الانهيار الانفلاقى طبقاً للمسافة بين الفواصل



شكل (١٠-٣) معامل قدرة التحمل (N_{cr}) فى معادلات (١٠-٧) لحساب قدرة التحمل فى حالة الانهيار الانفلاقى طبقاً للمسافة بين الفواصل

١٠/٥/٢/٣(ب) قيم استرشادية لقدرة التحمل المسموح بها

يعطي الجدول(١٠- ١٤) قيماً استرشادية لقدرة التحمل المسموح بها أسفل الأساسات المرتكزة علي صخور غير مجواة . والقيم الموضحة يؤخذ بها على سبيل الاسترشاد في مراحل التصميم الابتدائي فقط مع مراعاة ضرورة القيام بكافة أعمال الاستكشاف و الاختبار اللازمة لتأكيد أو تعديل هذه القيم في مرحلة التصميم التفصيلي.

جدول (١٠- ١٤) قيم استرشادية لقدرة التحمل المسموح بها للأساسات على الصخر غير المجوى بدلالة نوع وحالة الصخر ومقاومته للكسر

نوع وحالة الصخر	مقاومة الصخر السليم	قدرة التحمل المسموح بها (كجم / سم^2)(١)
صخر كتلى نارى أو متحول وفى حالة جيدة (٢)	عالية - عالية جدا	١٠٠
صخر متحول ورواقى foliated و إردواز وسليت وشيل slate, shale فى حالة جيدة (٢)، (٣)	متوسطة - عالية	٣٠
صخر رسوبى فى حالة جيدة : شيل متلاحم ، صخر طميي ، حجر رملى ، حجر جيرى بدون تكهفات ، كونجلوميريت جيد التلاحم (٢) ، (٣)	متوسطة - عالية	٤٠-١٠
شيل مضغوط compacted shale وصخور طينية أخرى بحالة جيدة (٢) ، (٤)	منخفضة - متوسط	١٠ - ٥
صخر مكسر من أى نوع به فواصل على مسافات تزيد عن ٠,٣٠ م (ماعدا الصخور الطينية)	-	١٠
حجر جيرى ، حجر رملى ، شيل ذات أسطح طبقات متقاربة	أنظر ملحوظة (٥)	
صخور عالية التكسير	أنظر ملحوظة (٥)	

ملحوظات:

(١) القيم المعطاه لقدرة التحمل المسموح بها بافتراض أن الأساسات ترتكز على صخر غير مجوى وهى قيم تقديرية قد تحتاج لتعديل بالزيادة أو النقص فى حالات معينة ، وهى لا تأخذ فى اعتبارها تأثير عمق التأسيس أسفل سطح الأرض .

(٢) يعتبر الصخر بحالة جيدة حتى لو احتوى على شروخ ثانوية على مسافات أكبر من ١,٠٠متراً.

(٣) القيم المعطاة للصخور الرسوبية أو الورقية foliated تستخدم عندما تكون الطبقة نفسها أو الأسطح foliations أفقية أو شبه أفقية وفقط عندما يتوفر دعم جانبى كافى ، وفى حالة الفواصل أو الطبقات المائلة يجب دراسة علاقتها بالميول أو القطوع القريبة وذلك بواسطة مهندس متخصص .

(٤) هذه الصخور تميل للانتفاش عند تخفيض الإجهادات عنها كما تميل للانتفاش وتقل مقاومتها عند تعرضها للمياه .

(٥) يتم تقييم الحالة على الطبيعة مع عمل اختبارات تحميل إذا تطلب الأمر .

١٠/٥/٢/٤ التشكل والهبوط

١٠/٥/٢/٤(أ) مقدمـــــة

يتناول هذا الجزء طرق حساب وتقدير الهبوط المتوقع للأساســات الضــحلة المرتكــزة علــى الصخور.

١٠/٥/٢/٤(ب) أنواع التشكل للكتلة الصخرية

تشكل الصخور تحت تأثير الأحمال قد يؤدى إلى هبوطها أو ارتفاعها . ويمكن تقســيم التشــكل بصفة عامة إلى تشكل معتمد على الزمن وتشكل غير معتمد علي الزمن [١] .

(ب-١) التشكل المعتمد على الزمن

يمكن تقسيم أنواع الهبوط المعتمد على الزمن time – dependant deformation إلى ثلاثــة أنواع تبعاً لآلية التشكل الحادث : تضــاغط consolidation ، انتفــاش swelling ، زحــف creep .

ب-١-١ التضاغط

يقصد بالتضاغط (أو التدعيم) عملية خروج الماء المالئ للفراغات تحت تأثير زيادة الإجهادات ، وبصفة عامة فإن التضاغط يرتبط بالتربة أكثر منه بالصخور إلا أن بعض الكتل الصخرية قــد تحتوى على شروخ وأسطح انفصال وجيوب مملوءة بتربة طينية أو مواد أخرى قابلة للانضغاط ومشبعة بالماء . كما قد تحتوى بعض أنواع الصخور الرسوبية على تكوينات صخور طينية مثل الصخر الطينى الصفائحى shale و mudstone التى قد تكون عرضة للتضاغط تحت تــأثير الإجهادات .

ب-١-٢ الانتفاش

بعض المعادن مثل الــمونتموريللونايت montmorillonite والأنهيدرايت anhydrite تنــتفش عند زيادة المحتوي المائي لها وتنكمش عندما تجف .

ب-١-٣ الزحف

الزحف هو استمرار التشكل تحت تأثير الإجهادات مع الزمن ويحدث ذلك بإحدى آليتين :

- التدفق الكتلى mass flow
- انتشار الشروخ الصغيرة micro fractures

ويحدث التدفق الكتلى لبعض أنواع الصخور من المتبخرات evaporites أما الزحف المقترن بانتشار الشروخ الصغيرة فقد تمت ملاحظته فى أغلب أنواع الصخور . ويوضح الشكل (١٠- ٤) نمط التشكل تحت تأثير قيم مختلفة من الإجهادات المستمرة وتغير الانفعال مع الزمن. وبصفة عامة ، فإن الزحف يحدث إذا ما كان الإجهاد المؤثر على الكتلة الصخرية يقع فى نطاق الإجهادات المقترنة بانتشار غير متزن للشروخ الصغيرة non-stable fracture propagation .

والانتقال من نطاق الإجهادات المتزنة إلى نطاق الإجهادات غير المتزنة من حيث انتشار الشروخ الصغيرة يتوقف على نوع الصخور ولكن بصفة عامة يحدث ذلك عند إجهاد يزيد عن ٥٠ % من إجهاد الكسر المحورى للصخر uniaxial compressive strength وهو إجهاد يزيد عادة عن الإجهاد المؤثر الذى تصمم عليه معظم المنشآت ، وعليه فإن الزحف لا يعتبر مشكلة فى أغلب أنواع الصخور .

(ب-٢) التشكل غير المعتمد على الزمن

يشمل التشكل غير المعتمد على الزمن time-independant deformation التشكل المرن elastic الذى يحدث قبل الانهيار والتشكل اللدن plastic الذى يحدث بعد بدء الانهيار ، أى التشكلات الحادثة نتيجة ازاحات قص أو ازاحات دورانية . وحيث أن التصميم السليم للأساسات على الصخور لايسمح بحدوث ازاحات ما بعد الانهيار فإن التشكل غير المعتمد على الزمن يعنى من وجهة النظر التصميمية الازاحات الحادثة قبل الانهيار فقط ويتم تقدير قيمتها باعتبار الصخور مواد مرنة elastic كما هو موضح فيما بعد.

١٠/٥/٢/٤(ج) الطرق التحليلية

يمكن بصفة عامة تقسيم الطرق التحليلية المستخدمة لحساب تشكل الاساسات إلى مجموعتين:

المعادلات الرياضية mathematical equations

الطرق الرقمية numerical methods

ويكون الاختيار بين الطريقتين معتمداً على ملاءمة النموذج المستخدم للتعامل مع المشكلة قيد الدراسة ومدى توافر المعلومات الجيولوجية والإنشائية ونوعيتها ودقتها والغرض من الحسابات ومدى الدقة المراد الحصول عليها .

(ج-١) المعادلات الرياضية

هى معادلات مستنتجة رياضياً من نظرية المرونة وهى تستنتج الإجهادات والانفعالات داخل الكتلة الصخرية بدلالة الشكل الهندسى والحمل وجساءة المنشأ والخصائص المرنة للصخر. وكنتيجة للتبسيطات الكثيرة والافتراضات المقترنة بهذه المعادلات فإن هذه المعادلات محدودة التطبيق (تفترض هذه المعادلات أن الصخور متجانسة ومرنة وخطية التصرف وذات خصائص واحدة فى كافة الاتجاهات) وتوضح البنود التالية (ج-١-١ إلى ج-١-٤) بعض الاعتبارات الهامة عند استخدام المعادلات الرياضية .

ج-١-١ المدخلات

لاستخدام المعادلات الرياضية يلزم معرفة المدخلات input parameters مثل قيم معامل المرونة Young's modulus ونسبة بواسون Poisson's ratio . ولحساب الهبوط فى الصخر يستعمل معامل التشكل للصخر E_d بدلا من معامل المرونة ويمكن تقدير قيمة معامل التشكل للكتلة الصخرية أو للطبقة بدلالة معامل جودة الصخر RQD ونتائج الاختبارات المعملية من المعادلة التالية:

$$E = (0.0231\ RQD - 0.32)\ E_{50} \qquad (١٠-١٠)$$

حيث :

E_{50} معامل المماس المحدد معملياً عند ٥٠% من قيم مقاومة الضغط أحادى المحور ، وهذه المعادلة غير صالحة للتطبيق عندما تنخفض قيمة RQD إلى ٦٠% أو أقل.

يمكن أيضاً تقدير قيمة E_d للكتلة الصخرية بدلالة معامل التصنيف الجيوميكانيكي RMR من المعادلة التالية :

$$E = 10(RMR - 10) / 40 \qquad \text{جيجاباسكال} \qquad (١١-١٠)$$

وهى معادلة تم استنباطها من اختبارات لوح التحميل على صخور تتراوح قيمة RMR لها بين ٢٥ ، ٨٥ . وفى حالة الصخر الذى يوجد بفواصله مواد مالئة فإن معامل المرونة للكتلة الصخرية يعتمد أيضاً على مقاومة المادة المالئة للانضغاط ، ويمكن حساب قيمة معامل المرونة للكتلة الصخرية من المعادلة التالية :

$$1/E_m = 1/E_r + 1/(K_n S) \qquad (١٢-١٠)$$

حيث:

E_m معامل المرونة للكتلة الصخرية

E_r معامل المرونة للصخر السليم

K_n الجساءة العمودية normal stiffness للمواد المالئة

S المسافة بين الفواصل

أما بالنسبة لقيمة نسبة بواسون فتتراوح بصفة عامة بين ٠,١ الى ٠,٣٥ إذ تقل قيمتها مع تحسن جودة الصخر ، وكنتيجة لصغر قيم التشكل فى الصخور بصفة عامة وقلة حساسية الحسابات لقيمة نسبة بواسون فإنه من المعتاد استخدام قيم مفترضة لهذه النسبة .

ج-١-٢ عمق التأثير

تقل الإجهادات داخل الكتلة الصخرية الناجمة عن أحمال الأساسات مع العمق . وفى حالة الأساسات المقامة على كتلة صخرية متعددة الطبقات multi-layered rock mass ذات خصائص مرونة مختلفة ، يجب أخذ عمق التأثير فى الاعتبار depth of influence . ويعتبر العمق الذى تصل عنده الإجهادات إلى ٢٠ % من قيمة الإجهاد المؤثر عند مستوى التأسيس هو عمق التأثير الواجب أخذه فى الاعتبار عند حساب التشكل أو الهبوط .

وإذا لم يكن هناك تباين بين الخصائص المرنة لطبقات الصخر مع العمق فيمكن اعتبارها طبقة واحدة والاعتماد على المعادلات والمنحنيات المستنتجة بناءاً على معادلة Boussinesq لتقدير تغير الإجهادات مع العمق لمختلف أنواع التحميل وأشكال الأساسات .

ج-١-٣ طبقات التأسيس متباينة الخواص

لتقدير قيمة التشكل يمكن التعامل مع الطبقات التى تتباين خصائصها عن طريق تمثيلها كطبقة واحدة ذات معامل تشكل مكافىء E_{de} بشرط ألا يزيد عدد الطبقات عن أربعة وألا تكون نسبة أى من معاملات المرونة إلى بعضها البعض أكثر من ثلاثة . ويمكن حساب معامل التشكل المكافىء للصخر من المعادلة التالية :

$$E_{de} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_{di} / \sum_{j=1}^{i} h_j \right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(1 / \sum_{j=1}^{i} h_j \right)} \qquad (١٣-١٠)$$

ويوضح الشكل (١٠-٥) عمق التأثير لأساس مقام على تتابع من طبقات صخرية متباينة الخواص والذى يمتد حتى تصبح الإجهادات الرأسية الناشئة من الحمل السطحى تساوى ٢٠% من الاجهادات الفعالة الرأسية الأصلية .

ج-١-٤ حلول لأساسات مستطيلة محملة بإجهادات منتظمة

يختلف الحل طبقاً لطبيعة الأساسات من حيث كونها أساسات جاسئة أو غير جاسئة وذلك على الوجه التالى :

أولاً: أساسات غير جاسئة

وهى الأساسات التى ليس لها جساءة كافية لمقاومة الانحناء تحت تأثير الأحمال ، ويكون أكبر هبوط لها فى مركزها كما هو موضح بشكل (١٠- ٦) . ويمكن حساب أقصى هبوط لأساسات غير جاسئة (مستطيلة محملة بانتظام) من المعادلة التقريبية الآتية :

$$\delta_a = \frac{1.12qB\left(1-\mu^2\right)\left(L/B\right)^{0.5}}{E_d} \qquad (١٠-١٤)$$

حيث:

δa القيمة القصوى للهبوط أسفل المركز بالشكل (١٠-٥)

q ضغط الارتكاز

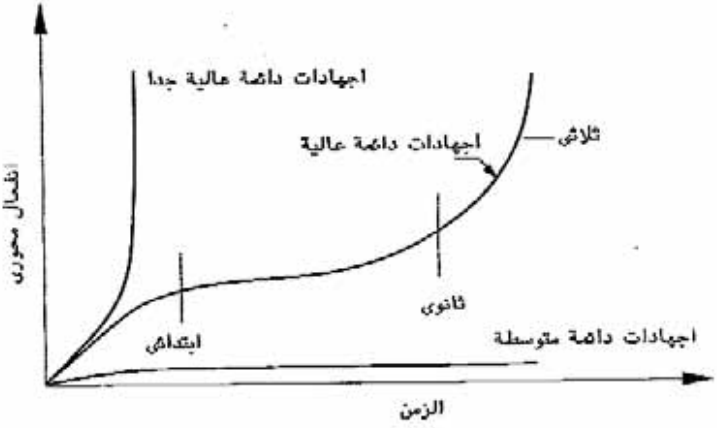
B عرض الأساس

L طول الأساس

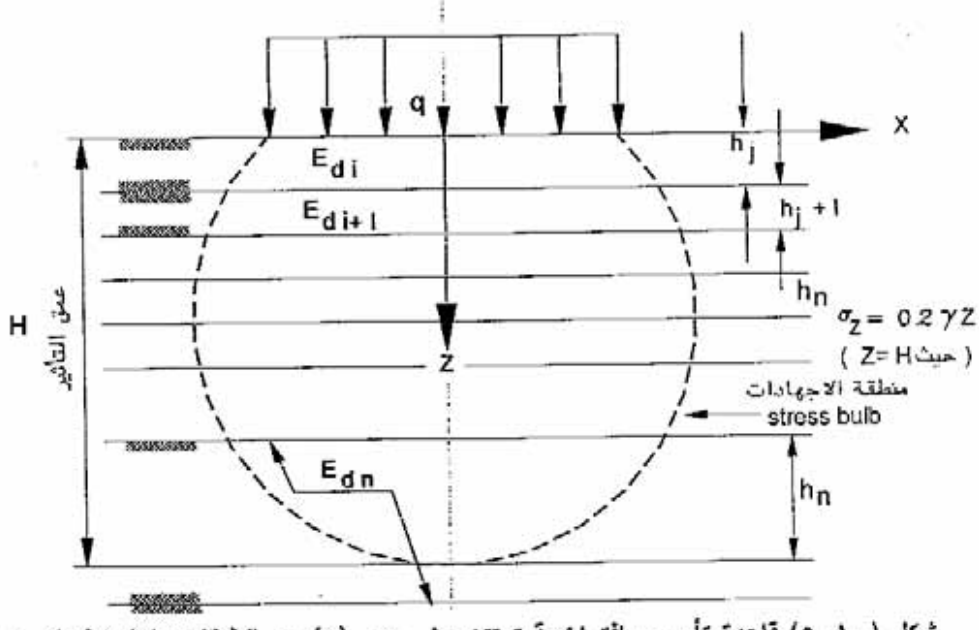
μ نسبة بواسون للصخر

E_d معامل التشكل للصخر

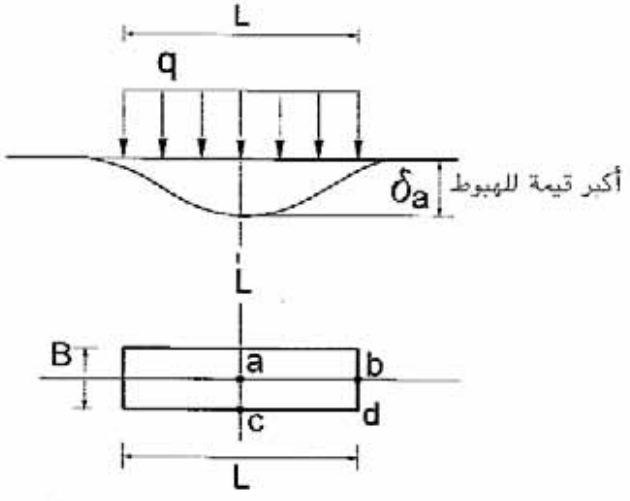
ويمكن تقدير الهبوط أسفل نقاط أخرى خلاف المركز بدلالة الهبوط المحسوب عند المركز باستخدام المعاملات الموضحة بالشكل (١٠- ٧) .



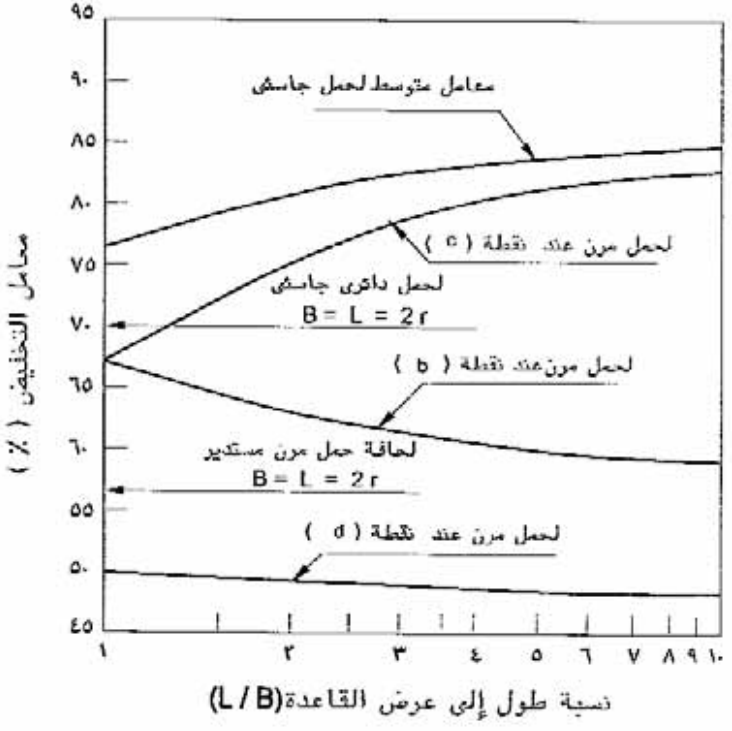
شكل (١٠-٤) منحنى تغير الانفعال مع الزمن



شكل (١٠-٥) قاعدة تأسيس افتراضية ترتكز على عدد (n) من الطبقات داخل نطاق عمق التأثير (H)



شكل (١٠-٦) توزيع الهبوط أسفل قاعدة مستطيلة مرنة ومحملة بانتظام



شكل (١٠-٧) معامل التخفيض للهبوط أسفل قاعدة مستطيلة مرنة

ثانياً: أساسات جاسئة

هى تلك الأساسات الجاسئة rigid foundations بدرجة كافية بحيث تقاوم الانحناء ويكون هبوطها منتظماً ومن الأمثلة لمثل هذه الأساسات المنشآت الخرسانية الثقالية مثل السدود concrete gravity dams ويكون الهبوط لهذه الأساسات الجاسئة متساوياً ومنتظماً ويمكن تقديره عن طريق ضرب الهبوط المحسوب لمركز الأساسات غير الجاسئة (لنفس الأبعاد) بمعامل يتم الحصول عليه من المنحنى الخاص بالأساسات الجاسئة فى شكل (١٠- ٧) .

١٠/٥/٢/٤(د) الطرق الرقمية

الطرق الرقمية numerical methods هى تلك الطرق التحليلية التى تعتمد على حل عدد كبير من المعادلات بالاستعانة بالحاسب الآلي . وفى حالات عديدة توفر هذه الطرق السبيل الوحيد لحساب الهبوط أو التشكل للمنشآت ، خاصة تلك التى تكون طبقات التأسيس أسفلها غير منتظمة أو ذات خصائص اتجاهية متباينة أو معرضة لحالات تحميل مركبة . وتنقسم النماذج العددية بصفة عامة إلى :

(د-١) نماذج لوسط به فواصل discontinuum

وفيها يتم تمثيل الوسط على أنه كتل جاسئة منفصلة متلامسة

(د-٢) نماذج لوسط متصل continuum

وتوجد عدة أنواع من هذه النماذج تعتمد على تمثيل المسألة قيد البحث كوسط متصل تحكم تشكلاته نماذج عددية يتم توصيفها بمعاملات ومعادلات للمواد مثل تلك المستعملة فى برامج العناصر المحددة finite element والفروق المحددة finite difference والعناصر الحدودية boundary element . وبعض النماذج الرياضية تحتاج إلى معاملات وخصائص تفوق تلك المعتاد الحصول عليها من خلال برامج استكشاف الموقع والاختبارات المعملية . ولأغلب المنشآت حيث الإجهادات منخفضة نوعاً ما مقارنة بقوة الصخر فإنه يمكن الحصول على تقديرات مقبولة للتشكل والهبوط أسفل الأساسات باستعمال الطرق التى تعتمد على نماذج خطية مرنة للصخر ، وتحتاج هذه النماذج إلى قيمة معامل التشكل كمعامل أساسى .

٤/٢/٥/١٠(هـ) الهبوط المسموح به

بالنسبة للمنشآت المؤسسة على الصخر فإنه من النادر أن تتحكم قيم التشكل أو الهبوط الكلى فى التصميم ويتم ضمان أداء المنشأ بالتحكم في فروق الهبوط بين العناصر الإنشائية. ويجب حساب الهبوط الكلى لعدد كاف من النقاط لتحديد نمط الهبوط الكلى والذى من خلاله يمكن حساب فروق الهبوط ومقارنتها بتلك المسموح بها (الجزء الثالث – الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات رقم ٢٠٠٣/٣ – بند ٣/٢/٦/٦ب) .

٤/٢/٥/١٠(و) المنشآت الخرسانية الكتلية

تصمم المنشآت الكتلية الخرسانية massive concrete structures لتستوفى متطلبات المشاريع المختلفة كل بحسب احتياجاته. وعليه فإنه يجب حساب قيم فرق الهبوط التى يمكن لكل منشأ تحملها على حدة . وقيم فرق الهبوط المحسوبة يجب أن تكون فى حدود المسموح به بحيث لاتسمح بتولد اجهادات قص أو شد زائدة عن الحدود المسموح بها وبحيث لا تتأثر كفاءة الأجزاء المتحركة من المنشأ مثل بوابات الأهوسة والتحكم فى المياه . وبالنسبة للمنشآت الخرسانية الكتلية المرتكزة على صخور ضعيفة لها معامل تشكل E_d قيمته أقل بكثير من قيمة معامل المرونة للخرسانة E_c تكون هناك قابلية للأساسات للتمدد عرضياً في الكتلة الصخرية مما يسبب اجهادات شد إضافية على الأساسات ويمكن تحديد تأثير نسبة معامل التشكل للصخر إلى معامل المرونة للخرسانة على النحو التالى [١١] :

(و-١) ($E_d / E_c > 0.25$): فى هذه الحالة يكون تأثير معامل التشكل للصخر على الإجهادات داخل الكتلة الخرسانية قليلاً.

(و-٢) ($0.06 < E_d / E_c < 0.25$) : يكون لمعامل التشكل للصخر تأثير على الإجهادات المتولدة داخل الكتلة الخرسانية ويزداد التأثير كلما قلت النسبة.

(و-٣) ($E_d / E_c < 0.06$)) : فى هذه الحالة يتحكم معامل التشكل للصخر بطريقة شبه تامة فى الإجهادات المتولدة فى الكتلة الخرسانية.

١٠/٥/٢/٤(ز) طرق المعالجة لتقليل التشكل أو الهبوط

فى الحالات التى تتعدى فيها قيم وفروق التشكل أو الهبوط القيم المسموح بها يجب العمل على تقليل قيم فروق التشكل هذه أو تصميم المنشأ بحيث يتحمل هذا التشكل . ولتقليل قيم فروق التشكل هناك اختياران :

(ز-١) تحسين خصائص التشكل للكتلة الصخرية .

(ز-٢) تعديل تصميم الأساسات .

(ز-١) تحسين خصائص التشكل للكتلة الصخرية

تهدف طرق تحسين التشكل للكتلة الصخرية إلى زيادة قدرة الكتلة الصخرية على مقاومة التشكل تحت تأثير الإجهادات وهى تنقسم الى طريقتين :

ز-١-١ تسليح الصخر rock reinforcement

ز-١-٢ التدعيم بالحقن grouting

ومن الناحية العملية تستعمل زيادة معامل التشكل للكتلة الصخرية فقط فى الحالات الخاصة التى يكون من الضرورى فيها تقليل قيم التشكل بمقدار صغير لتحقيق قيم التشكل أو الهبوط المسموح بها .

ز-١-١ تسليح الصخر

تسليح الصخور باستخدام الشدادات والمسامير وغيرها ...rock bolts, rock anchors, تستعمل بصفة أساسية لزيادة اتزان المنشآت المشيدة على الصخور . ولكن، وفى حالات خاصة، يكون التسليح المنتظم بالمسامير الصخرية systematic bolting مؤثراً فى تقليل حركة المنشأ (مثل الحركة الدورانية للحوائط الساندة) ويمكن الرجوع إلى الباب الثامن من هذا الكود لمعرفة تفاصيل أكثر عن هذه الوسائل .

ز-١-٢ التدعيم بالحقن

التدعيم بالحقن هو دفع مونة أسمنتية فى الكتلة الصخرية بهدف تحسين معامل التشكل ومقاومة القص ، وتعتمد فاعلية التدعيم بالحقن على حالة الكتلة الصخرية . والتدعيم بالحقن بهدف زيادة معامل التشكل يكون أكثر فائدة فى الكتل الصخرية كثيرة الشروخ highly fractured والتى بها عدد من الشروخ السائدة المفتوحة predominant open joints وقبل الشروع فى عمليات التدعيم بالحقن يجب إجراء دراسة أولية ميدانية لتقييم التحسن الممكن تحقيقه ويجب أن تشمل الدراسة الأولى الحقلية إجراء حقن تجريبى على كتلة صخرية تشمل الكتلة الصخرية

المراد تحسين خصائصها ويجب إجراء اختبارات التشكل الحقلية قبل وبعد إجراء الحقن وذلك لتقييم درجة التحسن المحققة.

(ز-٢) تعديل تصميم الأساسات

تعديل تصميم الأساسات يعد أفضل الطرق لتقليل فروق التشكل والهبوط . ويشمل تعديل تصميم الأساسات عدة أساليب جميعها مبنية على واحدة أو أكثر من الأفكار الأساسية التالية:-

ز-٢-١ تقليل الإجهادات الواقعة على صخور التأسيس .

ز-٢-٢ إعادة توزيع الإجهادات المؤثرة بحيث توجه إلى طبقات صخرية أعلى جساءة وذات جودة أفضل .

ز-٢-٣ تقليل قيم التشكل القصوى عن طريق زيادة جساءة الأساسات .

ويعتمد اختيار طريقة تصميم الأساسات النهائية على حالة صخور التأسيس والاعتبارات الإنشائية والتكاليف المصاحبة .

١٠/٦ الأساسات العميقة على الصخور

١٠/٦/١ مقدمة

يتعرض هذا الجزء للأساسات العميقة التي ترتكز على أو تخترق طبقات صخرية، ويوضح طبيعة انتقال الأحمال من هذه الأساسات للصخر وكيفية حساب قوة تحمل الأنواع المختلفة من الخوازيق، ومدى تأثر ذلك بأساليب الإنشاء المختلفة. كذلك يتناول تقدير الهبوط الناتج عن الأحمال الرأسية بعد انتقالها إلى الصخر.

١٠/٦/٢ قوة تحمل الصخر للأحمال المحورية

١٠/٦/٢/١ العوامل المؤثرة على إنتقال الأحمال إلى الصخر

تنتقل الأحمال المؤثرة على رأس الخازوق إلى الكتلة الصخرية عن طريق مقاومة الارتكاز عند الكعب بالإضافة إلى مقاومة الاحتكاك علي جوانب مسافة الاختراق داخل الصخر rock socket. وعلي الرغم من انتقال بعض الأحمال عن طريق الاحتكاك بين الخازوق والتربة أعلى الصخر ، فإن هذه الأحمال تكون عادة ذات قيمة صغيرة نسبياً وبالتالي يمكن إهمالها.

ويعتمد توزيع الحمل بين كعب الخازوق وجوانب مسافة الاختراق على الخصائص الهندسية للصخر في هذه المسافة، ومنها خشونة سطح الصخر الملامس للخازوق والجساءة النسبية للكتلة الصخرية بالنسبة لمادة الخازوق بالإضافة إلى مقدار الهبوط الحادث وكذلك يعتمد على إمكانية حدوث فواصل بين جذع الخازوق والصخر المحيط به نتيجة للانكماش في الخرسانة. وقد أظهرت الدراسات والأبحاث المختلفة أنه في حالة القيم الصغيرة لهبوط الخازوق فإن الحمل ينتقل أساساً عن طريق الاحتكاك الجانبي، بينما يبدأ الحمل في الانتقال عن طريق الارتكاز مع زيادة مقدار الهبوط. ونظراً لأن قيمة الهبوط المسموح بها تكون عادة صغيرة فإنه يوصى بحساب قدرة تحمل الخازوق عن طريق الاحتكاك الجانبي داخل الصخر فقط إذا ما سمح طول مسافة الاختراق بذلك (يرجع للبند ١٠/٦/٢/٣). أما إذا زاد هبوط الخازوق عن ١٠مم، أو كانت مسافة الاختراق المتاحة في الصخر قليلة (أقل من مرتين قطر الخازوق)، أو ارتكز كعب الخازوق على سطح الصخر مباشرة دون اختراقه، فيتم احتساب قدرة التحمل على أساس مقاومة الارتكاز فقط، حيث أن مقاومة الاحتكاك في هذه الحالة تمثل كثيراً أو تنعدم | ٢٢ |.

وتجدر الإشارة إلى أنه في حالة ارتكاز الخوازيق على طبقات من الحجر الجيري القابل للتكهف ، وخاصة في المناطق المعروفة بتواجد ظاهرة karstic formations ، فإنه يجب التأكد من عدم

وجود فجوات أو كهوف داخل تكوين الحجر الجيرى خلال مسافة لا تقل عن ستة مرات قطر الخازوق.

٢/٢/٦/١٠ قدرة تحمل الخوازيق المنفذة بالدق والمرتكزة على الصخر

بالنسبة للخوازيق المنفذة بالدق حتى الوصول إلى الصخر ، فإن العناصر تحدث تقريباً على سطح ذلك الصخر. وفى هذه الحالة ينتقل حمل الخازوق عن طريق الارتكاز وتتحدد قدرة التحمل فى الأغلب اعتماداً على مقاومة مادة الخازوق، مع أخذ تأثير الانبعاج buckling فى الاعتبار إذا اخترق الخازوق طبقات طينية أو طمية ضعيفة جداً. أما فى حالات الصخر الضعيف الذى يمكن اختراقه بالدق (مثل الحجر الطمي والطباشير)، فإن كثيراً من العوامل مثل المساحة المتصلة بالصخر، وعمق اختراق الطبقات الصخرية، بالإضافة إلى نوعية الصخر وتأثرها بعمليات الدق، تكون غير محددة وتحتاج خبرة كبيرة لتقييمها، وبالتالي فإن قدرة تحمل الخازوق يتم تحديدها عن طريق اختبارات التحميل والمقارنة مع نتائج اختبارات الدق بالموقع. إلا أنه من الممكن على سبيل الاسترشاد بغرض التصميم المبدئى[٢٨]، افتراض القيم الوارد ذكرها فيما بعد.

٢/٢/٦/١٠ (أ) مقاومة الارتكاز للخوازيق المنفذة بالدق حتى سطح الصخر أو بداخله بمسافة لا تتجاوز ضعف قطر الخازوق (قيم استرشادية)

- فى حالة الحجر الرملى أو الحجر الجيرى السليم intact rock تفترض مقاومة الارتكاز من ٩ ١٢ مرة من متوسط قيمة الضغط غير المحاط لعينات الصخر اللبية.
- فى حالة الصخور الضعيفة ذات التجوية المتوسطة تفترض مقاومة الارتكاز من ٥-٦ مرات من متوسط قيمة الضغط غير المحاط لعينات الصخر اللبية.
- فى حالة الصخور عالية التجوية أو ذات الفواصل الكثيرة أو الفواصل المفتوحة الممتلئة بالطين لا تزيد مقاومة الارتكاز عن متوسط قيمة الضغط غير المحاط لعينات الصخر اللبية.
- فى حالة الصخر الطباشيري chalk تفترض مقاومة الارتكاز بضرب عدد الدقات الناتجة من اختبار الاختراق القياسي (N) فى معامل مقداره ٢٠٠ (مقاومة الارتكاز بالكيلو نيوتن /متر مربع).

٢/٢/٦/١٠(ب) مقاومة الاحتكاك للخوازيق المنفذة بالدق والمخترقة لطبقات الصخر الضعيف لمسافة تزيد عن ضعف القطر (قيم استرشادية)

في هذه الحالة تفترض قيمة لمقاومة الاحتكاك تتراوح بين ٣٠-٥٠ كيلو نيوتن / متر مربع خلال مسافة الاختراق في الصخر، وتضاف إليها قيمة الارتكاز طبقاً لما هو مذكور في البند ٢/٢/٦/١٠(أ) أعلاه.

وفي حالة الخوازيق المعرضة للشد فإنه يتم تقليل قيمة الاحتكاك بمقدار ٣٠% [٢٨]، ولا توجد بالطبع أية مقاومة للارتكاز في هذه الحالة.

وتفترض قيمة لمعامل الأمان لا تقل عن ٣ لكل من مقاومة الاحتكاك والارتكاز المذكورة في البندين ٢/٢/٦/١٠(أ) ، ٢/٢/٦/١٠(ب) للسابقين إلا أن القيمة التصميمية النهائية يجب تعيينها عن طريق اختبارات التحميل الابتدائية على خوازيق غير عاملة.

٣/٢/٦/١٠ قدرة تحمل الخوازيق المنفذة بالتفريغ

بالنسبة للخوازيق المنفذة بالتفريغ والمصبوبة في مكانها يمكن حساب الحمل التصميمي المسموح به لخازوق ذو مقطع دائري ونصف قطره (r) عن طريق الارتكاز فقط $(Q_{all})_b$ باستخدام المعادلة التالية [٩]:

$$(Q_{all})_b = q_{un}\, K_{sp}\, f_d\, \pi\, r^2 \qquad (١٠-١٥)$$

حيث :

q_{un} القيمة المتوسطة لمقاومة الضغط غير المحاط لعينات قلوب الصخر اللبية خلال مسافة مقدارها مرتين قطر الخازوق أسفل مضوب الكعب.

K_{sp} معامل يتم الحصول عليه من الشكل رقم (١٠-٨) ويعتمد على خصائص الصخر وقطر الخازوق، ويدخل في قيمته معامل أمان مقداره ٣.

f معامل العمق ويساوى $1+0.4\ Ls/Bs$ (لا تزيد قيمته عن ٣).

حيث :

Ls عمق الاختراق داخل طبقة الصخر.

Bs قطر الخازوق في خلال مسافة الاختراق في الصخر rock socket length.

أما الحمل التصميمي للخازوق عن طريق الاحتكاك فقط $(Q)_f$ فيمكن حسابه عن طريق المعادلة التالية [٢٨]:

$$(Q)_f = \frac{\alpha\beta\, q_{un}\, \pi\, B_s\, L_s}{FS} \qquad (١٠-١٦)$$

حيث :

α معامل تخفيض يعتمد على مقاومة الضغط غير المحاط للصخر جدول (١٠- ١٥)

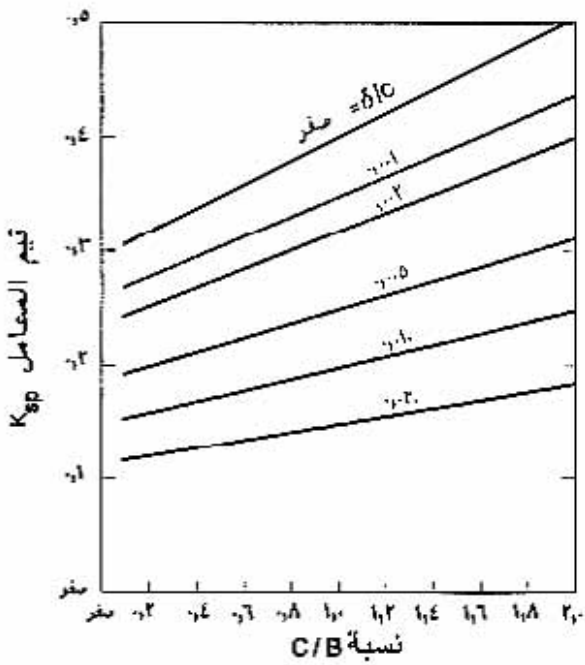
β معامل تخفيض يعتمد على كثافة الفواصل داخل الكتلة الصخرية جدول (١٠-١٦)

q القيمة المتوسطة للضغط غير المحاط لعينات الصخر اللبية في منطقة مسافة الاختراق

B قطر الخازوق في خلال مسافة الاختراق في الصخر

L عمق الاختراق داخل طبقة الصخر rock socket length

FS معامل أمان لا تقل قيمته عن ٢



$$K_{sp} = \frac{3 + C/B}{10\sqrt{1 + 300\,\delta/C}}$$

حيث

C المسافة بين الفواصل

δ اتساع الفواصل

B قطر الخازوق

المعادلة صالحة للقيم

$$٠,٠٥ < \frac{C}{B} < ٢,٠$$

$$٠,٠٢ > \frac{\delta}{C} > صفر$$

شكل (١٠-٨) قيم المعامل k للقيم المختلفة للنسبة بين المسافة بين الفواصل وقطر الخازوق وذلك عند القيم المختلفة لاتساع الفواصل

جدول (١٠-١٥) قيمة المعامل α بدلالة مقاومة الضغط غير المحاط للصخر خلال مسافة الاختراق

α	q (kN/m)
٠,٣٠	أقل من ١٠٠٠
٠,٢٥	١٠٠٠-٢٠٠٠
٠,١٨	٢٠٠٠-٥٠٠٠
٠,١٣	٥٠٠٠-١٠٠٠٠
٠,١٠	١٠٠٠٠-٢٠٠٠٠
٠,٠٥	أكبر من ٢٠٠٠٠

جدول (١٠-١٦) قيمة المعامل β بدلالة معامل جودة الصخر RQD خلال مسافة الاختراق

β	معامل جودة الصخر RQD
٠,٦٥	أقل من ٥٠%
٠,٧٣	٥٠%-٧٥%
٠,٨٨	٧٥%-٩٠%
١,٠٠	٩٠%-١٠٠%

وفى حالة الخوازيق المعرضة لأحمال الشد فإنه يتم تقليل القيمة المحسوبة بواسطة المعادلة (١٠-١٦) بمقدار ٣٠% [٢٨] ، ولا يتم أخذ حمل الارتكاز فى الاعتبار ، ويتم إضافة وزن الخازوق بدون تأثير لمعامل الأمان عليه .

وتجدر الإشارة إلى أنه بالنسبة للخازوق المنفذ بالتفريغ فإن مسافة الاختراق فى الطبقات الصخرية تتراوح عادة بين مرة إلى ثلاث مرات قطر الخازوق، إلا أنه إذا ما سمحت حالة الصخر ، فيمكن زيادة مسافة الاختراق عن ذلك لتحقيق الحمل التصميمى المسموح به المناسب

للخازوق طبقاً لقدره تحمله الإنشائية والهبوط المسموح به. ويتحدد أسلوب حساب الحمل التصميمي سواء كان عن طريق مقاومة الارتكاز فقط أو الاحتكاك فقط (وذلك كقيمة متحفظة) بالنظر إلى قيمة الهبوط المتوقعة طبقاً لحسابات البند(٤/٦/١٠) فإذا زاد الهبوط المتوقع للخازوق عن ١٠مم يتم حساب مقاومة الارتكاز فقط أما إذا قل عن ذلك فيتم حساب الحمل التصميمي عن طريق مقاومة الاحتكاك داخل مسافة الاختراق فى الصخر فقط وذلك فى حالة ما إذا كان طول هذه المسافة يسمح بنقل الحمل المناظر لقدرة التحمل الإنشائية للخازوق (وبحيث لا يقل عن مرتين قطر الخازوق)، وإلا تم الاعتماد على مقاومة الارتكاز فقط فى الحساب [٢٢]. أما بالنسبة للدعامات piers والقيسونات caissons، فيتم الاعتماد فقط على مقاومة الارتكاز فى حساب الحمل التصميمي [٢٨].

كما تجدر الإشارة أيضا الى أنه للتأكد من الحصول على القيم الموصى بها للحمل التصميمى فى هذا البند فإنه يجب التأكد سواء فى مرحلة استكشاف الموقع أو عند تنفيذ الخوازيق من عدد من العوامل الهامة مثل احتمال وجود فجوات فى الصخور الجيرية أو احتمالات انكماش الخرسانة وانفصالها عن جوانب الحفر، وكذلك الطرق المستخدمة فى التنفيذ (يرجع للبند ٣/٦/١٠) إلى غير ذلك من العوامل التى يمكن أن تؤثر على كفاءة نقل الأحمال من الخازوق إلى الصخر، ويجب فى حالة عدم التأكد من أثر هذه العوامل إجراء تجارب تحميل ابتدائية على خوازيق غير عاملة حتى ضعف الحمل التصميمى على الأقل.

٣/٦/١٠ اعتبارات خاصة بتنفيذ الأساسات العميقة على الصخور

على الرغم من إمكانية تحقيق أحمال مرتفعة للخوازيق فى حالة ارتكازها على سطح الصخر أو اختراقها له مسافة معينة، فإنه يجب أخذ عدد من العوامل فى الإعتبار عند تنفيذ هذه الخوازيق لتأمين تحقيق الأحمال المفترضة فى التصميم، وتعتمد هذه العوامل على طبيعة الصخر وحالة تجويته وكذلك كثافة الفواصل وطبيعة المواد المالئة لها، إلى غير ذلك من العوامل الجيولوجية التى يجب دراستها بدقة لكى تؤخذ فى الاعتبار سواء فى تقدير الأحمال التصميمية للخوازيق أو فى اتخاذ الاحتياطات اللازمة أثناء التنفيذ على النحو الوارد فيما يلى:

١/٣/٦/١٠ الخوازيق المنفذة بالدق

تراعى الاعتبارات التالية بالنسبة للخوازيق المنفذة بالدق لترتكز على أو داخل الصخر:

- يجب تجنب زيادة الدق overdriving لتحقيق مناعة معينة إذا لم يتم الوصول لهذه المناعة بسرعة، وذلك لأن الصخور الهشة brittle قد تتعرض للتشقق splitting أسفل كعب الخازوق مما قد يؤثر كثيراً على مقاومة الارتكاز، وقد يستمر الانشقاق بمواصلة الدق مما يتطلب اختراق الصخر لمسافة كبيرة بدون داع للوصول للمقاومة المطلوبة للارتكاز.
- في حالة الدق في صخر كثيف الفواصل heavily jointed أو به مستويات تطبق عالية الانحدار steeply inclined bedding planes، تكون مقاومة الكتلة الصخرية للحركة قليلة أسفل كعب الخازوق ، وتستمر هذه الحركة بمواصلة الدق حتى تقفل الفواصل أو تتهشم الكتلة الصخرية فيتم الوصول للمناعة المطلوبة، إلا أنه في حالة دق مجموعات من الخوازيق المتقاربة قد تقل مقاومة الارتكاز كثيراً، لذلك يجب عمل اختبارات لإعادة الدق re-driving tests ، مع عمل عدد كاف من اختبارات التحميل للتأكد من عدم تخطي قيم الهبوط المناظرة لأحمال التشغيل الحدود المسموح بها.
- في حالة الدق والارتكاز على صخر صلب يجب ملاحظة ارتداد الخوازيق لأعلى rebound لخوازيق المجموعة الواحدة مع استمرار الدق، ويجب عمل اختبارات إعادة الدق لتسجيل أي ارتفاع للخوازيق، ويجب أخذ كافة الاحتياطات لتقليل عملية الارتداد باتباع التسلسل الملائم لأعمال الدق، إلى غير ذلك من الاحتياطات (يرجع إلى الجزء الرابع من الكود المصري ، كود الأساسات العميقة ، كود رقم ٤/٢٠٢).
- في حالة استعمال مواسير من الصلب ذات نهايات مفتوحة أو قطاعات من الصلب على شكل حرف H، بحيث يسهل اختراق الطبقات الصخرية المهشمة أو الضعيفة، يراعى أن عمليات الدق ينتج عنها عادة تكسير هذه الصخور الضعيفة للدرجة التي تتلاشى معها مقاومة الاحتكاك على سطح الخازوق. ونظراً لصغر مساحة مقطع مساحة الارتكاز فإنه يحدث تركيز عال للاجهادات بما لا يتناسب مع مقاومة تحمل الصخور المهشمة، ولذلك يوصى في هذه الحالة بلحام أطواق أو ألواح مقوية في كعب الخازوق لتقليل تركيز الاجهادات.

٢/٣/٦/١٠ الخوازيق المنفذة بالتفريغ

تراعى الاعتبارات التالية بالنسبة للخوازيق المنفذة بالتفريغ لترتكز داخل الصخر:

- تعتبر حالة جوانب الحفر فى مسافة الاختراق داخل الصخر عاملاً كبير الأهمية فى تحديد مقاومة الاحتكاك. ففى حالة الصخر الضعيف مثل الطباشير أو المارل الطينى أو الشيل الطينى عالى التجوية قد يؤدى عمل أدوات الحفر إلى إضعاف جوانب الحفر، وقد تنخفض مقاومة الاحتكاك الجانبى لتصبح مثل تلك المناظرة للطين الضعيف، ولذلك يجب التأكد من مقاومة الاحتكاك فى هذه الحالة بواسطة اختبارات تحميل ابتدائية. ولا يحدث هذا التأثير فى الصخور القوية أو المكسرة بل قد يحدث زيادة فى قطر الحفر فى مسافة الاختراق بالنسبة لقطر الخازوق أعلى الصخر، مما قد يزيد من تعشيق الخرسانة داخل الصخر وبالتالى زيادة قدرة التحمل.
- في حالة الحفر داخل طين لين للوصول إلى صخر يتم اختراقه، قد تأخذ أدوات الحفر بعضاً من الطين إلى داخل مسافة الاختراق بالصخر وتمتلئ به الفجوات وتلتصق بالجوانب مما قد يؤدى إلى حدوث نقص كبير فى مقاومة الاحتكاك، ويمكن تقليل ذلك التأثير باستخدام ماسورة مؤقته خلال الطين اللين مع تأمينها داخل الصخر قبل استكمال أعمال الحفر، مع ملاحظة أن الماسورة قد يلتصق بها الطين أيضاً من الداخل، وينتقل هذا الطين إلى الحفرة داخل الصخر مع أدوات الحفر مما يقلل من مقاومة الاحتكاك، لذلك ينصح فى هذه الحالة بتأكيد الحمل التصميمى للخازوق عن طريق اختبارات تحميل ابتدائية.
- فى حالة استخدام معلق البنتونيت فى الحفر، يوصى بتقليل مقاومة الاحتكاك داخل مسافة الاختراق إلى ٢٥% من تلك المحسوبة بالمعادلة (١٠-١٦)، إلا إذا أظهرت اختبارات تحميل ابتدائية خلاف ذلك [٢٨].
- تعتمد مقاومة الارتكاز للخوازيق المنفذة بالحفر والمصبوبة فى مكانها فى الصخور الضعيفة على وسائل الحفر بدرجة كبيرة، ففى حالة استخدام معدات الحفر النقرى percussive drilling tools يمكن أن تتراكم مواد ضعيفة جداً فى قاع الحفرة بحيث تعطى انطباعاً خاطئاً عن الطبيعة الحقيقية للصخر عند استخراجها، ولذلك فإنه من الأهمية بمكان تعيين طبيعة الطبقات الصخرية أثناء إستكشاف الموقع بواسطة استخراج العينات اللبية cores الممثلة بالوسائل الملائمة لذلك، إلا أنه يجب فى جميع الحالات

تنظيف قاع الحفرة جيداً قبل صب الخرسانة، وخاصة فى حالة الإعتماد على مقاومة الارتكاز فى نقل الأحمال.

٤/٦/١٠ هبوط الخوازيق

يمكن حساب هبوط الخازوق المفرد (S) الذى ينقل الحمل الرأسي إلى الصخر عن طريق المعادلة الآتية:

$$S = S_s + S \qquad (١٧-١٠)$$

حيث :

S الهبوط نتيجة للانفعال المرن بحذع الخازوق elastic compression of pile shaft ويتم حسابه عن طريق المعادلة التالية [٢٨] :

$$S_s = (Q + \alpha Q)\frac{L}{AE_p} \qquad (١٨-١٠)$$

حيث:

Q حمل الارتكاز المنقول للصخر عند كعب الخازوق

Q حمل الاحتكاك المنقول للصخر عن طريق جهود الاحتكاك على سطح جذع الخازوق

L طول الخازوق

A مساحة مقطع الخازوق

E معامل المرونة لمادة الخازوق

α معامل = ٠,٥٠

S الهبوط نتيجة لانتقال الحمل إلى الصخر، ويتم حسابه طبقاً لطريقة الارتكاز فى الصخر، إما كخازوق مرتكز على أو داخل الصخر بمسافة صغيرة، أو كخازوق ينقل الحمل بالاحتكاك على جوانب مسافة الاختراق داخل الصخر على النحو السابق شرحه فى البند ٢/٦/١٠.

ففى حالة الخازوق المرتكز على الصخر، أو يخترقه بمسافة تقل عن مرتين قطر الخازوق بحيث ينتقل الحمل أساساً عن طريق الارتكاز، يتم حساب S_p من المعادلة التالية [٢١]:

$$S = \frac{Q_b I_p}{B E} \qquad (١٠-١٩)$$

حيث:

Q حمل الخازوق المنقول عن طريق الارتكاز

I معامل تأثير تؤخذ قيمته عادة = ٠,٥

B قطر الخازوق

E معامل المرونة للكتلة الصخرية أسفل كعب الخازوق خلال مسافة قدرها ٣ مرات قطر الخازوق

أما فى حالة الخازوق الذى ينقل الحمل عن طريق الاحتكاك داخل مسافة الاختراق rock socket ، فإن قيمة S_p يتم حسابها عن طريق المعادلة التالية [٢١]:

$$S = \frac{Q I_p}{B E} \qquad (١٠-٢٠)$$

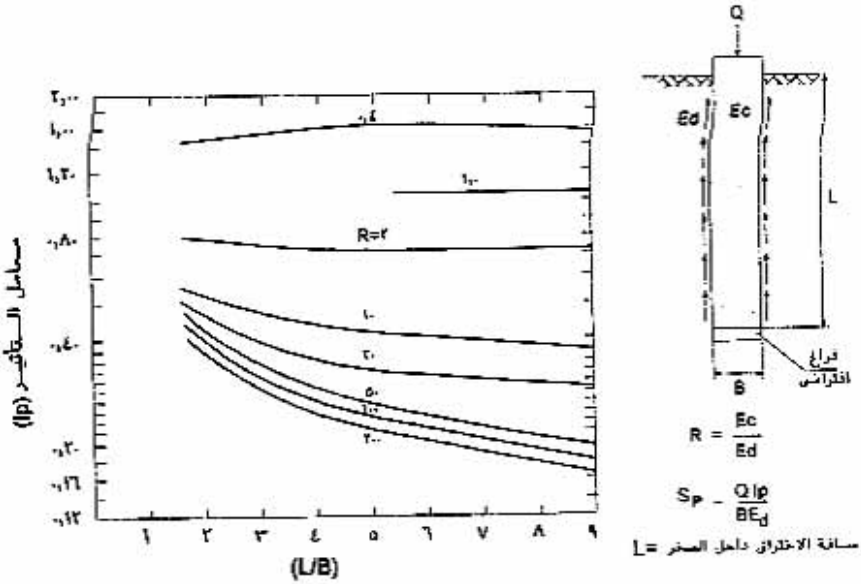
حيث :

Q الحمل الكلى المنقول على رأس الخازوق

I معامل تأثير يتم تعيينه من الشكل رقم (١٠-٩) طبقاً لمسافة الاختراق داخل الصخر (L) .

B قطر الخازوق

E معامل المرونة للكتلة الصخرية خلال مسافة الاختراق



شكل (١٠-٩) معامل التأثير للهبوط المرن لمسافات الاختراق للخوازيق داخل الصخر

١٠/٦/٥ مجموعات الخوازيق

يعتبر اتزان مجموعة من الخوازيق مرتكزة على الصخر محكوما عادة بملامسة ذلك الاتزان بالنسبة لكل خازوق مفرد فى المجموعة. وعلى سبيل المثال، فإنه من الممكن حدوث انهيار لأحد أو بعض خوازيق المجموعة نتيجة وجود جيوب من الصخر عالى التجوية أسفل كعب الخازوق، مما يؤثر على باقى المجموعة. إلا أنه فى حالة ارتكاز مجموعة الخوازيق على سطح صخرى مائل، مع امتلاء الفواصل ومستويات التطبق بالطين الضعيف، يمكن حدوث انهيار انزلاقي لمجموعة الخوازيق مع الكتلة الصخرية إذا كان اتجاه الميل غير ملائم بالنسبة لاتجاه التحميل، ولذلك يجب دراسة هذه الحالة بتعمق فى ضوء المعلومات الجيولوجية المتوافرة بالموقع.

بعد تقدير هبوط الخازوق المفرد يمكن تقدير هبوط مجموعة الخوازيق S_G من الصيغة التالية [٣١]:

$$S_G = S\sqrt{b/B} \qquad (١٠-٢١)$$

حيث:

- b المقاس الأدنى (البعد الأصغر) لمجموعة الخوازيق بالمسقط الأفقى (بين الأسطح الخارجية للخوازيق)
- B قطر الخازوق المفرد

S مقدار هبوط الخازوق المفرد مقدراً من المعادلات السابقة أو المقاسة من تجارب التحميل

٦/٦/١٠ الأحمال الجانبية

بالنسبة للخوازيق التى تخترق طبقات من التربة ثم ترتكز على أو تمتد داخل طبقات صخرية عميقة نسبياً (تزيد عن ١٠ مرات قطر الخازوق) فإن مقاومة الخوازيق للأحمال الجانبية تتحدد أساساً طبقاً لطبيعة طبقات التربة، وليس الصخر، إلا أنه فى حالة الاعتماد على الطبقات الصخرية فى نقل الأحمال الجانبية (مثلاً فى حالة اختراق الخوازيق لطبقات ضعيفة جداً أو طبقات من الردم الردئ قبل الوصول للصخر) فإنه يمكن اتباع الطرق العامة المذكورة فى كود الأساسات العميقة فى تحليل المشكلة، وذلك بأحد الطريقتين التاليتين [٥]:

- إعتبار الصخر وسطاً مرناً لحساب الإزاحة والعزوم طبقاً لطريقة Poulos المذكورة فى الكود المصرى للأساسات العميقة (كود رقم ٤/٢٠٢) [٣٠] مع اختيار القيمة المناسبة لمعامل مرونة كتلة الصخر.
- إعتبار الصخر مثل التربة الطينية سابقة التضاغط مع اختيار قيمة مناسبة لمقاومة القص طبقاً لخصائص كتلة الصخر.

٧/٦/١٠ اختبارات الخوازيق

يتم إجراء الاختبارات المختلفة على الخوازيق المنفذة فى الصخر، سواء إختبارات التحميل أو الاختبارات غير المتلفة، طبقاً لمتطلبات الكود المصري للأساسات العميقة (كود رقم ٤/٢٠٢) [٣٠]. إلا أنه نظراً للعوامل العديدة التى قد تؤثر على نقل الأحمال للصخر سواء عن طريق الإحتكاك أو الإرتكاز على النحو السابق شرحه فى البندين ٢/٦/١٠، ٣/٦/١٠، فإنه يوصى بصفة عامة فى حالة الخوازيق المرتكزة على أو داخل الصخر بزيادة الإعتماد على نتائج إختبارات التحميل الأولية حتى ضعف الحمل التصميمى على الأقل فى تأكيد الأحمال التصميمية المحسوبة نظرياً، وخصوصاً في المشاريع الهامة أو التى تتطلب إنشاء عدد كبير من الخوازيق تعتمد على الصخر فى نقل الأحمال.

١٠/٧ اتزان الميول الصخرية

١٠/٧/١ مقدمة

يختص هذا الباب من كود التأسيس على الصخر بموضوع ثبات الميول. وسواء كانت الميول طبيعية أو صناعية ، دائمة أو موقتة ، فإن ثباتها وتأمين سلامتها يعتبر من المسئوليات الهندسية الهامة وبصفة خاصة إذا كان انهيار الميل يعرض أرواح و ممتلكات للخطر كما في حالة القرى أو التجمعات السكنية الموجودة في سفوح أو قمم الجبال (ميول طبيعية) أو إذا كان الميل جزء من مشروع إنشائي كبير أو يقع في نطاقه (ميول صناعية).

يشتمل هذا الجزء على أنواع تحركات الميول وأسبابها والطرق المختلفة لدراستها و تحليلها.

١٠/٧/٢ أنماط الحركة في الميول الصخرية

يمكن أن تحدث بعض التحركات للميول الصخرية دون أن تؤدى إلى انهيارها ولكن تكرار هذه التحركات مع مرور الزمن يزيد من احتمال إنهيار هذه الصخور مما يتسبب في حدوث أخطار كبيرة على الممتلكات والأرواح. وقد تم تقسيم أنماط الحركة الأساسية التي تؤدى إلى انهيار الميول الصخرية إلى ستة أنماط مختلفة ، ويمكن أن ينهار الميل نتيجة لوجود نوعين أو أكثر منها مجتمعة. ويتم تناول الأنماط المختلفة للحركة في البنود التالية.

١٠/٧/٢/١ السقوط

هذا النوع من الحركة للكتل أوالبلوكات الصخرية والمسمي بالسقوط fall يحدث في حالة عدم وجود سطح للانزلاق ، حيث يكون السقوط سريعا جدا. و يمكن أن يكون السقوط مصحوبا بانفصال لكتل أخرى من الصخر من مكانها الأصلي. ويحدث السقوط في كل أنواع الصخر بسبب تغير درجات الحرارة أو تجمد المياه في الفواصل بين البلوكات الصخرية أو ضغط المياه فيها أو نتيجة لتآكل التربة أو الصخور الضعيفة أسفل كتل الصخور القوية undercutting، شكل (١٠-١٠).

١٠/٧/٢/٢ الانقلاب

الانقلاب toppling هو دوران لكتلة أو كتل صخرية حول نقطة ارتكاز بأحد الأركان السفلية للكتلة تحت تأثير الجاذبية الأرضية أو تحت تأثير قوى دفع أفقية أو مائلة من خلال الفواصل المقابلة لهذة للكتلة.

ويمكن شرح آلية الانقلاب كما هو موضح فى الشكل (١٠-١١) ، حيث تبين أن البلوك سيحدث لـه انقلاب بمجرد وقوع مسقط مركز ثقله خارج قاعدة الارتكاز أى أن نسبة العرض إلى الطول (b/h) أقل من tan Ψ حيث الزاوية Ψ هى زاوية ميل قاعدة ارتكاز البلوك على الأفقى وكلما كانت زاوية الميل Ψ أقل من زاوية الاحتكاك φ يكون نمط الحركة المحتمل هو الانقلاب الذى يحدث إذا توفر الشرط (b/h) أقل من tan Ψ . أما إذا زادت قيمة زاوية الميل Ψ عن زاوية الاحتكاك فإن نمط الحركة يأخذ شكل الانزلاق على الميل بدلاً من الانقلاب ، أو قد يحدث نمط تمتزج فيه آليات الانقلاب والانزلاق تبعا لأبعاد وخصائص الكتلة الصخرية ، وفى معظم الأحيان تكون ظاهرة الانقلاب سببا فى سقوط بعض الكتل الصخرية وليس سببا فى انهيار الميل الصخرى بأكمله.

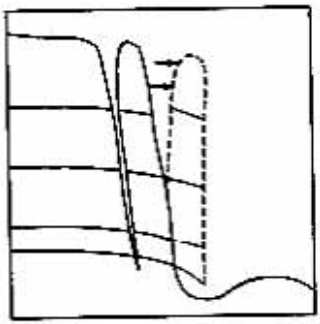
١٠/٢/٧/٣ الانبعاج

تحدث ظاهرة الانبعاج buckling فى حالة الكتلة الصخرية التى تأخذ شكل أعمدة أو طبقات رقيقة columnar or sheeted rock masses والتى تكون فيها مستويات الانفصال موازية للميل وعمودية على الأبعاد الصغيرة لهذة الطبقات و بشرط أن يكون الإجهاد المحيط confining stress بها ضعيفاً ، الشكل (١٠-١٢).

١٠/٢/٧/٤ الانزلاق المستوى والدورانى

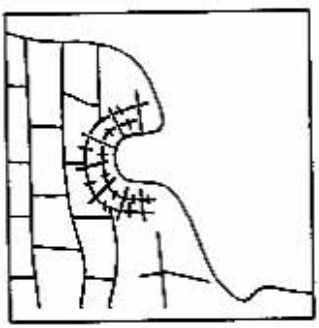
يحدث الانزلاق المستوي والدورانى plannar and rotational sliding نتيجة لحدوث انفعالات قص وإزاحة على مستوى أو عدة مستويات ويمكن أن تكون الحركة ظاهرة أو غير ظاهرة. كما يمكن أن تكون الحركة تدريجية بحيث تصل اجهادات القص إلى أقصى قيمة (مقاومة الصخر) تدريجيا على المستوى الذى سيكون مستوى انهيار لاحقا. ويمكن تقسيم الانزلاق إلى انزلاق دورانى وانزلاق مستوى.

الانزلاق الدورانى هو انزلاق كتلة على مستوى دائرى ، ويحدث هذا النوع من الانزلاق بصفة عامة فى التربة و الصخور الضعيفة جداً و لا يحدث فى حالة الصخور متوسطة القوة أو القوية حيث يتأثر دائما شكل مستوى الانهيار فى هذه الحالة بمستويات الانفصال ومستويات التطبق الموجودة فى الصخر ، شكل (١٠-١٣). ويتميز الانزلاق الدائرى بأن دوران الكتلة المنهارة يكون عادة على سطح يشكل جزء من دائرة.

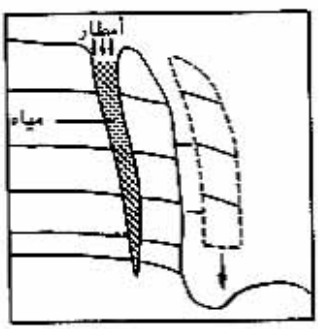


سقوط كتل من الصخر نتيجة
تجمد المياه في الفواصل

سقوط كتل من الصخر نتيجة
عوامل التجوية

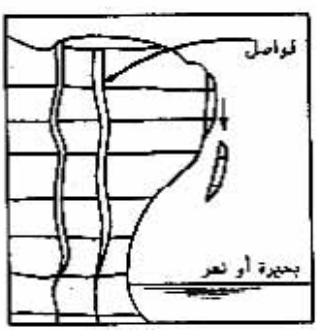


سقوط كتل من الصخر نتيجة
انعيارات داخلية



سقوط كتل من الصخر نتيجة
امتلاء الفواصل بالمياه

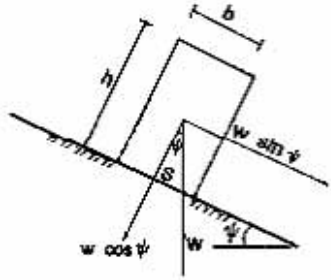
سقوط كتل من الصخر نتيجة
لتآكل الطبقات السفلى

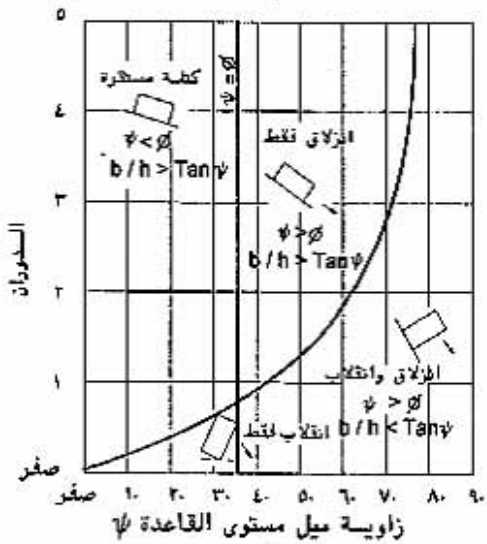


سقوط كتل من الصخر عند
الفواصل نتيجة للتآكل

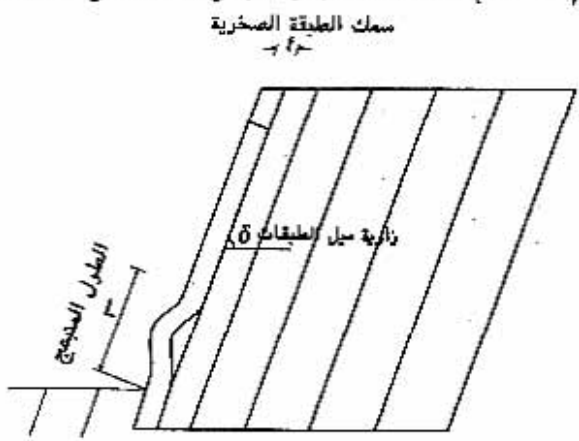
شكل (١٠-١٠) أمثلة توضح آليات سقوط الكتل من الصخر

والانزلاق المستوى هو حركة كتلة من الصخر على سطح واحد مستو أوسطحين أو أكثر، ويحكم هذة المستويات عادة المستويات الضعيفة أو مستويات عدم الاتصال الموجودة فى الصخر مثل

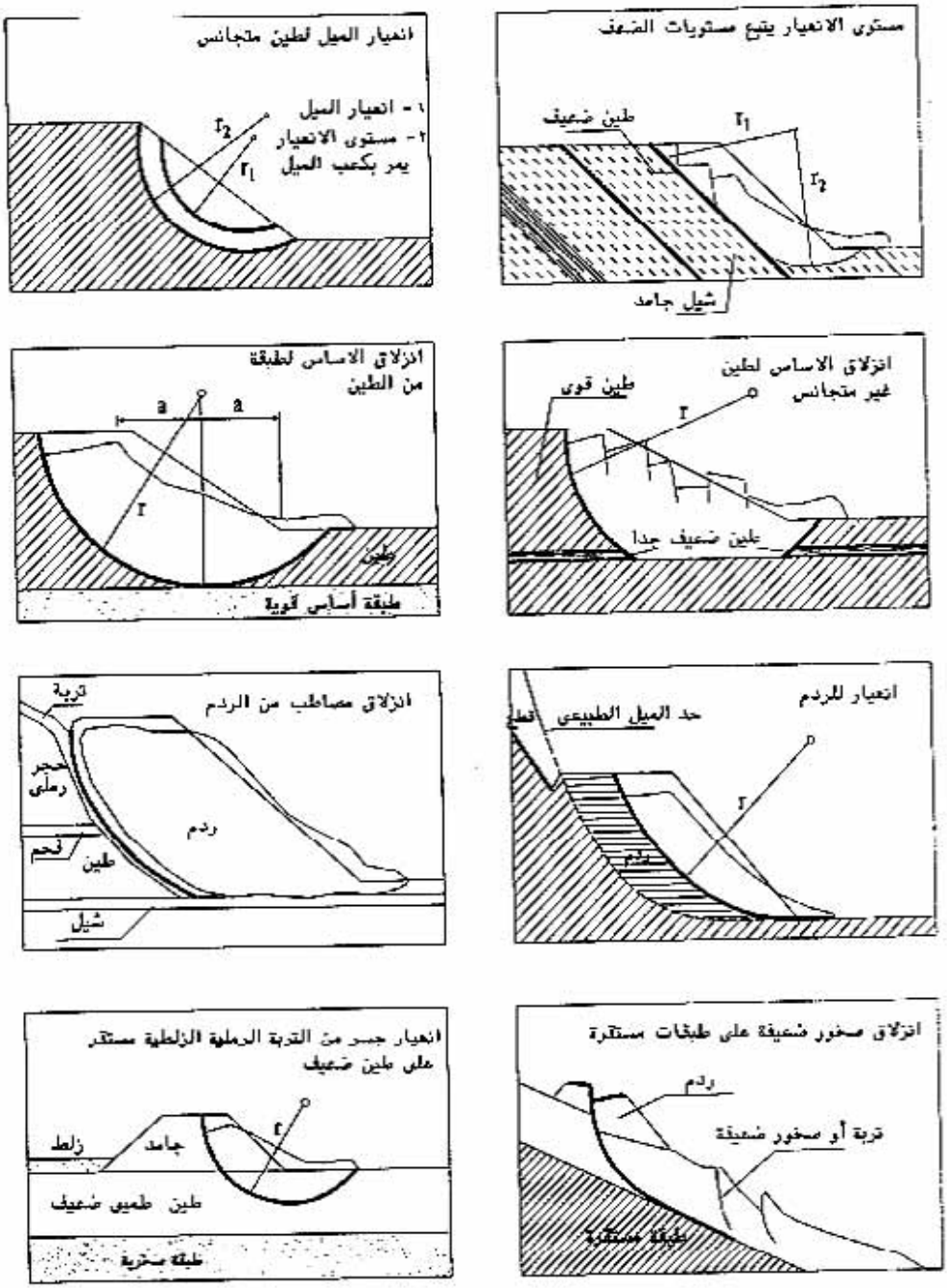




شكل (١٠-١١) حالات الانقلاب والانزلاق لبلوك على مستوى مائل



شكل (١٠-١٢) حالة الانبعاج للطبقات الصخرية المائلة



شكل (١٠-١٣) أمثلة للانزلاق المستوى والدورانى لطبقات متتابعة من التربة و الصخر الضعيف جداً

الفواصل والفوالق ومستويات التطبق أو مستويات انفصال بين صخور قوية وصخور ضعيفة. شكل (١٠-١٤) يوضح بعض الأمثلة للانزلاق المستوى.

١٠/٢/٧/٥ الانتشار الجانبى

يتمثل هذا النمط من الحركة lateral spreading فى الحركات العرضية المصحوبة بشروخ نتيجة لاجهادات القص أو اجهادات جانبية نتيجة الشد.

ويمكن أن يحدث الانتشار الجانبى نتيجة لتحركات عرضية لبعض الطبقات بدون وجود مستوى ظاهر للحركة أو الانزلاق ، كما يمكن أن يحدث نتيجة لتحركات أو شروخ فى بعض الطبقات سواء كانت صخور أو تربة شديدة التماسك نتيجة لضعف الطبقات المجاورة بسبب تعرضها لبعض العوامل البيئية أو الطبيعية مثل ظاهرة التسييل للتربة الرملية أثناء الزلزال أو ظاهرة الضعف المفاجئ لمقاومة القص فى الصخور الطينية عندما تتعرض للمياه والشكل (١٠-١٥) يوضح انتشاراً جانبياً لبعض البلوكات الصخرية من الحجر الرملى المرتكزة على طبقة من الحجر الطينى الصفحى Shale التى فقدت مقاومتها لاجهادات القص عندما تعرضت للمياه.

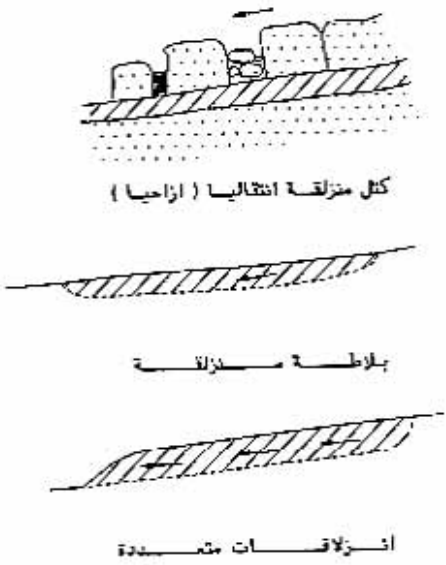
١٠/٢/٧/٦ الانسياب

تحدث حركة الانسياب flow على مدى أزمنة طويلة من خلال الفواصل الموجودة بين الصخور ويكون عادة فى اتجاهات أفقية أو مائلة. ينتج عن هذه الحركات ظواهر مختلفة مثل الطياتfolding والانحناء bending و الانتفاخ bulging .

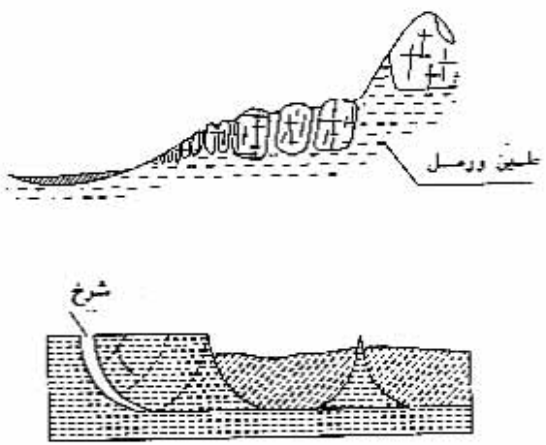
١٠/٢/٧/٣ انهيار الميول

يحدث انهيار فى الميول الصخرية إما بحدوث نوع واحد من الحركات السابق ذكرها فى البند (١٠/٢/٧) أو تتابع نوعين أو أكثر منها ، وفى هذه الحالة يسمى انهياراً مركباً composite failure وعادة ما يكون انهيار الميول الصخرية مركباً من مجموعة من الحركات.

يحدث الانهيار للميول الصخرية نتيجة لبعض العوامل الطبيعية مثل النحر ، والمياه الأرضية ، والعوامل الجوية (الرياح والحرارة) ، وحالة الإجهادات الموقعية ، و الزلازل ، بالإضافة إلى بعض العوامل الناشئة عن الأنشطة العمرانية.



شكل (١٠-١٤) أمثلة للانزلاق المستوى لكتل صخرية



شكل (١٠-١٥) أشكال توضح الانهيار بالانتشار الجانبى

١٠/٧/٣/١ النحر

تحدث ظاهرة النحر erosion للصخور بصور مختلفة مثل:

(أ) النحر الذى يحدث فى سفوح الميول الصخرية بواسطة مياه الأنهار أو البحار المجاورة ، وفي هذه الحالة يؤدى النحر إلى تغير فى شكل الميل وإزالة بعض الكتل الصخرية الموجودة أسفل الميل مما يؤدى إلى عدم اتزانه وبالتالى انهياره.

(ب) النحر الذى يحدث فى الصخور بصورة موضعية بواسطة المياه الجارية سواء كان مصدرها المياه الأرضية أو الأمطار ، وفي هذه الحالة يؤدى النحر إلى ضعف مقاومة الصخور لإجهادات القص و ذلك فى حالة الصخور التى تتأثر بالمياه ، مما يسبب عدم الاستقرار والحركة وبالتالى انهيار لبعض الكتل الصخرية التى كانت مستقرة .

١٠/٧/٣/٢ المياه الأرضية

وجود المياه الأرضية فى الفواصل الموجودة بين الكتل الصخرية يقلل من الإجهادات الفعالة بين تلك الكتل مما يقلل من قوى الاحتكاك بينهما ، كما أن ضغط المياه الأفقى فى الفواصل الرأسية يمكن أن يسبب قوى فى اتجاه انزلاق الميل مما يؤثر على استقراره.

١٠/٧/٣/٣ العوامل الجوية

يؤدى التغير فى درجات الحرارة إلى تمدد وانكماش الصخور مما ينتج عنه انفصال فى الكتل الصخرية أو تفتت فى بعض أنواع الصخور مثل الحجر الرملى ، وهذا يؤدى بدوره إلى حركات وتشكلات فى سطح الميل باستمرار . وتأثير العوامل الجوية على اتزان الميول يستغرق أزمنة طويلة.

١٠/٧/٣/٤ حالة الإجهادات في الموقع

يرتبط تكوين الصخور الرسوبية أساسا بتعرض التربة إلى إجهادات وضغوط رأسية كبيرة فى وجود درجات الحرارة العالية ، ينتج عن هذه الضغوط إجهادات أفقية كبيرة تكون فى اتجاه عمودى على القطع الصخرى تؤدى إلى عدم اتزانه وانفصال بعض الكتل ثم سقوطها . ولذلك فإنه فى حالة عمل قطع فى الصخور بعمق كبير نسبيا لابد من تعيين قيم الاجهادات الموقعية in-situ state of stresses أولاً لدراسة مدى تأثير هذه الإجهادات على اتزان هذا القطع الصخرى.

١٠/٧/٣/٥ العوامل البيئية

إن من أهم العوامل البيئية هو تسرب المياه من شبكات التغذية و شبكات الصرف الصحى والتسربات السطحية للمياه من بعض المنشآت مثل الخزانات و محطات المياه و محطات البنزين . ويحدث هذا عادة عند انتقال الحضر إلى الأماكن الصحراوية النائية حيث تتأثر الصخور الرسوبية بهذه المياه وخاصة الحجر الطميي والحجر الطينى و المارل و بعض أنواع الحجر الجيرى والرملى الضعيفة التلاحم وتضعف مقاومتها لإجهادات القص مما يؤدى الى بدء تحرك بعض البلوكات الصخرية القريبة من الميول الطبيعية الموجودة فى تلك المنطقة.

١٠/٧/٣/٦ الزلازل

تؤدى الهزات الأرضية earthquakes إلى تولد قوى ديناميكية أفقية ورأسية تؤثر على اتزان الكتل الصخرية المتجاورة وبالتالى يمكن أن تؤدى الى سقوط بعضها فى حالة وجودها بالقرب من ميل أو قطع صخرى.

١٠/٧/٤ معاملات القص التصميمية

١٠/٧/٤/١ مقدمة

لدراسة اتزان الميول الصخرية يجب تحديد معاملات القص التصميمية لمقاومة اجهادات القص للكتلة الصخرية والتي تعتمد أساساً علي نظريات الانهيار المستخدمة في التحليل والتي من أشهرها نظرية مور كولوم Mohr Coloum وطريقة هوك Hook الوضعية إلي جانب الكثافة وحالة مستويات الانفصال واتجاهاتها والعلاقة بين الإجهادات الموقعية الرأسية والأفقية الموجودة في منطقة الدراسة . وسوف يتناول هذا البند معاملات القص للصخر السليم ولمستويات الانفصال وللكتلة الصخرية .

١٠/٧/٤/٢ معاملات القص للصخر السليم طبقا لنظرية مور- كولوم

تعتبر هذه النظرية من أبسط وأقدم نظريات الانهيار المستخدمة فى مجالات ميكانيكا التربة والمواد ويمكن أن تستخدم هذه النظرية فى إعداد التصميمات المبدئية للميول الصخرية ويمكن أن يعتمد عليها كليا فى بعض الحالات وذلك طبقا لسلوك الصخر فى أحوال معينة و مدى مطابقة هذا السلوك لافتراضات هذه النظرية.

١٠/٧/٣/٥ العوامل البيئية

إن من أهم العوامل البيئية هو تسرب المياه من شبكات التغذية و شبكات الصرف الصحى والتسربات السطحية للمياه من بعض المنشآت مثل الخزانات و محطات المياه و محطات البنزين . ويحدث هذا عادة عند انتقال الحضر إلى الأماكن الصحراوية النائية حيث تتأثر الصخور الرسوبية بهذه المياه وخاصة الحجر الطميي والحجر الطينى و المارل و بعض أنواع الحجر الجيرى والرملى الضعيفة التلاحم وتضعف مقاومتها لإجهادات القص مما يؤدى الى بدء تحرك بعض البلوكات الصخرية القريبة من الميول الطبيعية الموجودة فى تلك المنطقة.

١٠/٧/٣/٦ الزلازل

تؤدى الهزات الأرضية earthquakes إلى تولد قوى ديناميكية أفقية ورأسية تؤثر على اتزان الكتل الصخرية المتجاورة وبالتالى يمكن أن تؤدى الى سقوط بعضها فى حالة وجودها بالقرب من ميل أو قطع صخرى.

١٠/٧/٤ معاملات القص التصميمية

١٠/٧/٤/١ مقدمة

لدراسة اتزان الميول الصخرية يجب تحديد معاملات القص التصميمية لمقاومة اجهادات القص للكتلة الصخرية والتي تعتمد أساساً علي نظريات الانهيار المستخدمة في التحليل والتي من أشهرها نظرية مور كولوم Mohr Coloum وطريقة هوك Hook الوضعية إلي جانب الكثافة وحالة مستويات الانفصال واتجاهاتها والعلاقة بين الإجهادات الموقعية الرأسية والأفقية الموجودة في منطقة الدراسة . وسوف يتناول هذا البند معاملات القص للصخر السليم ولمستويات الانفصال وللكتلة الصخرية .

١٠/٧/٤/٢ معاملات القص للصخر السليم طبقا لنظرية مور- كولوم

تعتبر هذه النظرية من أبسط وأقدم نظريات الانهيار المستخدمة فى مجالات ميكانيكا التربة والمواد ويمكن أن تستخدم هذه النظرية فى إعداد التصميمات المبدئية للميول الصخرية ويمكن أن يعتمد عليها كليا فى بعض الحالات وذلك طبقا لسلوك الصخر فى أحوال معينة و مدى مطابقة هذا السلوك لافتراضات هذه النظرية.

وطبقـا لهذه النظرية يتم افتراض العلاقة بين ،ذجهاد العمودى (σ_n) والإجهاد المماس (τ) بالعلاقة الخطية التالية :

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi \qquad (٢٢-١٠)$$

وبذلك تكون معاملات القص كالاتى :

c وهى مقاومة الصخر لاجهادات القص عند إجهاد عمودى مساويا للصفر

φ وهى زاوية مقاومة إجهاد القص

ويمكن تعيينها عن طريق رسم العلاقة بين σ_n ، τ بواسطة إجراء عدة اختبارات لعينات ممثلة للصخر على جهاز الضغط ذو الثلاث محاور عند اجهادات عرضية (σ_3) مختلفة وترسم دوائر الانهيار على مستوى σ_n ، τ ثم يرسم أفضل مماس للدوائر.

١٠/٧/٤/٣ معاملات القص للصخر السليم وللكتلة الصخرية طبقا لطريقة هوك الوضعية

بناء على نتائج اختبارات الضغط ثلاثى المحاور على عينات لأنواع مختلفة من الصخور وجد أن العلاقة بين σ_n ، τ ليست خطية إنما أقرب ما تكون للقطع الناقص ، وتوجد نظريات كثيرة تصف هذه العلاقة من أشهرها نظرية هوك و براون حيث تعتبر من أهم وأنسب النظريات عند دراسة الكتلة الصخرية حيث يمكنها أن تأخذ فى الاعتبار حالة الشروخ والفواصل الموجودة ، وهى العلاقة بين σ_1, σ_3 كالتالى :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m \ \sigma_3 \ q_u + s \ q^2_u)^{1/2} \qquad (٢٣-١٠)$$

حيث :

σ_1 الإجهاد الأساسى الرئيسى major principal stress

σ_3 الإجهاد الأساسى الثانوى minor principal stress

q_u مقاومة الضغط أحادى المحور لعينة من الصخر uniaxial compressive strength

s, m معاملات تستنتج من الجدول (١٠-١٧).

ويتحكم المعامل m فى انحناء المنحنى بين (σ_3 , σ_1) ، بينما يؤثر المعامل s على مكان المنحنى فى المستوى (σ_1 , σ_3).

جدول (١٠- ١٧): قيم المعاملات s, m لأنواع الصخور المختلفة بدلالة حالة الكتلة الصخرية

حالة الكتلة الصخرية		أنواع الصخور				
		صخور كربوناتية ذات بلورات واضحة وانفصامات (دولوميت ، حجر جيري ، رخام)	صخر طيني متحجر به انفصامات عادية (صخر طيني ، صخر طمي ، صخر اردواز)	صخور رملية بها بلورات قوية ، وضعيفة الانفصامات (حجر رملي ، كوارتزيت)	صخور نارية دقيقة الحبيبات ومتعددة المعادن (أنديزيت ، دولوريت ، دياباز ، ديوليت)	صخور نارية كبيرة الحبيبات ومتعددة المعادن (أمفيبوليت ، جابرو ، نايس ، جرانيت نوريت ، كوارتزديوريت)
عينات صخرسليم	m	٧,٠	١٠,٠	١٥,٠	١٧,٠	٢٥,٠
عينة معملية خالية من مستويات عدم الاتصال	s	١,٠	١,٠	١,٠	١,٠	١,٠
CSIR* rating:RMR* = ١٠٠						

تابع جدول (١٠- ١٧): قيم المعاملات s, m لأنواع الصخور المختلفة بدلالة حالة الكتلة الصخرية

كتل صخرية عالية الجودة صخر متماسك وبه فواصل غير مجواة ذات مسافات بينية من ١,٠ إلى ٣,٠ م CSIR* rating:RMR* = ٨٥	m	٢,٤٠	٣,٤٣	٥,١٤	٥,٨٢	٨,٥٦
	s	٠,٠٨٢	٠,٠٨٢	٠,٠٨٢	٠,٠٨٢	٠,٠٨٢
كتل صخرية جيدة صخر عديم أو قليل التجوية متأثر بفواصل ذات مسافات بينية من ١,٠ إلى ٣,٠ م CSIR* rating:RMR* = ٦٥	m	٠,٥٧٥	٠,٨٢١	١,٢٣١	١,٣٩٥	٢,٠٥٢
	s	٠,٠٠٢٩٣	٠,٠٠٢٩٣	٠,٠٠٢٩٣	٠,٠٠٢٩٣	٠,٠٠٢٩٣

تابع جدول (١٠- ١٧): قيم المعاملات m ,s لأنواع الصخور المختلفة بدلالة حالة الكتلة الصخرية

كتل صخرية متوسطة الجودة						
للعديد من مستويات الفواصل متوسطة التجوية وذات مسافات بينية من ٠,٣ إلى ١,٠ م	m	٠,١٢٨	٠,١٨٣	٠,٢٧٥	٠,٣١١	٠,٤٥٨
	s	٠,٠٠٠٠٩	٠,٠٠٠٠٩	٠,٠٠٠٠٩	٠,٠٠٠٠٩	٠,٠٠٠٠٩
CSIR* rating:RMR* = ٤٤						
كتل صخرية منخفضة الجودة						
للعديد من مستويات الفواصل المجواة وذات مسافات بينية من ٣ إلى ٥٠ سم ومملوءة بمواد مطحونة، ركام صخرى نظيف مدموج	m	٠,٠٢٩	٠,٠٤١	٠,٠٦١	٠,٠٦٩	٠,١٠٢
	s	٠,٠٠٠٠٠٣	٠,٠٠٠٠٠٣	٠,٠٠٠٠٠٣	٠,٠٠٠٠٠٣	٠,٠٠٠٠٠٣
CSIR* rating:RMR* = ٢٣						

تابع جدول (١٠- ١٧): قيم المعاملات m ,s لأنواع الصخور المختلفة بدلالة حالة الكتلة الصخرية

كتل صخرية						
منخفضة الجودة جداً						
العديد من مستويات للفواصل المجواة وذات مسافات بينية أقل من ٥,٠ سم وممتلئة بركام صخرى ومواد ناعمة	m	٠,٠٠٧	٠,٠١٠	٠,٠١٥	٠,٠١٧	٠,٠٢٥
	s	٠,٠٠٠٠٠٠١	٠,٠٠٠٠٠٠١	٠,٠٠٠٠٠٠١	٠,٠٠٠٠٠٠١	٠,٠٠٠٠٠٠١
CSIR* rating:RMR* = ٣						

* CSIR Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

* NGI Norway Geotechnical Institute : المصدر

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m\ \sigma_3\ q_u + s\ q^2_u)^{1/2}$$

σ_1 = الإجهاد الفعال الرئيسى الأكبر

σ_3 = الإجهاد الفعال الرئيسى الأصغر

q_u = الضغط غير المحاط للصخر السليم

m ,s= ثوابت وضعية

١٠/٧/٤/٤ معاملات القص لمستويات الانفصال

العلاقة بين σ_n و τ لمستويات الانفصال في الصخور غالبا ما تكون غير خطية و أشبه بمنحنى القطع المكافئ parabola كما هو موضح في الشكل (١٠- ١٦) إلا أنه يمكن تبسيط العلاقة لخط مستقيم في حدود الاجهادات المؤثرة على المشكلة قيد الدراسة معادلة (١٠-٢٢) ، حيث يمكن اعتبار أن φ ، c هما معاملا القص لمستويات الانفصال بين حدى الإجهاد A , B كما هو مبين بالشكل (١٠- ١٦).

وعادة تكون العلاقة بين (τ ، σ_n) خطية في حالة استخدام المقاومة المتبقية residual strength حيث تكون قيمة المعامل c مساوية للصفر وقيم الزاوية φ تتراوح من ١٠ إلى ٣٠ درجة. أما في حالة التعامل مع المقاومة القصوى peak strength فتكون العلاقة غير خطية كما في الشكل (١٠-١٦). والجدول (١٠-١٨) يوضح قيماً نمطية استرشادية مختلفة للمعاملات φ ، c لأنواع مختلفة من مستويات الانفصال للصخور طبقاً لنوعية المواد المالئة.

١٠/٧/٥ طرق دراسة وتحليل الميول

١٠/٥/٧/١ مقدمة

يعرض هذا الجزء موجزاً للطرق المختلفة المستخدمة في تصميم الميول الصخرية ودراسة اتزانها وتحديد معامل الأمان. يعتمد اختيار الطريقة علي شكل الانهيار المفترض حدوثه ومستويات الانفصال وعلي الأسباب التي يمكن أن تؤدي إلى الحركة.

١٠/٧/٥/٢ طريقة الاتزان الحدي

تعتمد طريقة الاتزان الحدي limit equilibrium علي فرض شكل سطح الانهيار سواء كان مستوياً أو دائرياً ، وعندئذ يتم دراسة اتزان الكتلة المفترض انهيارها بالأخذ في الاعتبار معاملات القص ϕ ، c ويمكن حساب قيمة c للكتلة الصخرية بدلالة معامل التصنيف الجيوميكانيكي RMR واستخدام المعادلة(١٠-٢) أو الاسترشاد بالجدول (١٠-١١ د) .

وقد طورت طريقة الاتزان الحدي باستخدام الشرائح المعتادة في دراسة ميول التربة لكي تستخدم في الميول الصخرية وذلك بأن تكون الخطوط الفاصلة بين الشرائح هي مستويات الانفصال joints وفي أي اتجاه غير الاتجاه الرأسي، وتكون الشرائح ممثلة للبلوكات الصخرية.

١٠/٧/٤/٤ معاملات القص لمستويات الانفصال

العلاقة بين σ_n و τ لمستويات الانفصال في الصخور غالبا ما تكون غير خطية و أشبه بمنحنى القطع المكافئ parabola كما هو موضح في الشكل (١٠- ١٦) إلا أنه يمكن تبسيط العلاقة لخط مستقيم في حدود الاجهادات المؤثرة على المشكلة قيد الدراسة معادلة (١٠-٢٢) ، حيث يمكن اعتبار أن φ ، c هما معاملا القص لمستويات الانفصال بين حدى الإجهاد A , B كما هو مبين بالشكل (١٠- ١٦).

وعادة تكون العلاقة بين (τ ، σ_n) خطية في حالة استخدام المقاومة المتبقية residual strength حيث تكون قيمة المعامل c مساوية للصفر وقيم الزاوية φ تتراوح من ١٠ إلى ٣٠ درجة. أما في حالة التعامل مع المقاومة القصوى peak strength فتكون العلاقة غير خطية كما في الشكل (١٠-١٦). والجدول (١٠-١٨) يوضح قيماً نمطية استرشادية مختلفة للمعاملات φ ، c لأنواع مختلفة من مستويات الانفصال للصخور طبقاً لنوعية المواد المالئة.

١٠/٧/٥ طرق دراسة وتحليل الميول

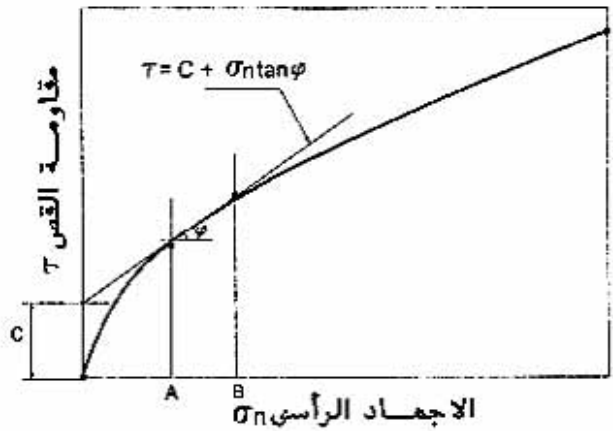
١٠/٥/٧/١ مقدمة

يعرض هذا الجزء موجزاً للطرق المختلفة المستخدمة في تصميم الميول الصخرية ودراسة اتزانها وتحديد معامل الأمان. يعتمد اختيار الطريقة علي شكل الانهيار المفترض حدوثه ومستويات الانفصال وعلي الأسباب التي يمكن أن تؤدي إلى الحركة.

١٠/٧/٥/٢ طريقة الاتزان الحدي

تعتمد طريقة الاتزان الحدي limit equilibrium علي فرض شكل سطح الانهيار سواء كان مستوياً أو دائرياً ، وعندئذ يتم دراسة اتزان الكتلة المفترض انهيارها بالأخذ في الاعتبار معاملات القص ϕ ، c ويمكن حساب قيمة c للكتلة الصخرية بدلالة معامل التصنيف الجيوميكانيكي RMR واستخدام المعادلة(١٠-٢) أو الاسترشاد بالجدول (١٠-١١ د) .

وقد طورت طريقة الاتزان الحدي باستخدام الشرائح المعتادة في دراسة ميول التربة لكي تستخدم في الميول الصخرية وذلك بأن تكون الخطوط الفاصلة بين الشرائح هي مستويات الانفصال joints وفي أي اتجاه غير الاتجاه الرأسي، وتكون الشرائح ممثلة للبلوكات الصخرية.



شكل (١٠-١٦) استخدام التقريب الخطى (نظرية مور – كولوم) بين الحـدين A-B وتعيـين القيم المقابلة للمعاملات C, φ

جدول (١٠- ١٨): قيم نمطية استرشادية مختلفة للمعاملات c, φ لمستويات الانفصال

أنواع الصخور أو المواد المالئة للفواصل	زاوية مقاومة اجهادات القص ، φ ° c = 0
فواصل فى الصخر بدون مواد مالئة	
حجر جيرى	٤٢ – ٤٩
حجر جيرى مسامى	٣٢ – ٤٨
طباشير	٣٠ – ٤١
حجر رملى	٢٤ – ٣٥
كوارتزيت	٢٣ – ٤٤
حجر طمىى طبقى (شيل)	٢٢ – ٣٧
صخور نارية	٣١ – ٥٢
شيست	٣٢ – ٤٠
فواصل بها مواد ناعمة مثل :	
مونتموريلونيت	٥ – ١٠
كاولينيت	١٢ – ١٥
ايلايت	١٦ – ٢٢
كلوريت	٢٠ – ٣٠
اسمنت	١٦ – ٢٢
رمل	٢٨ – ٤٠

تؤخذ قيمة التماسك c = صفر

١٠/٧/٥/٣ طرق التحليل العددي

١٠/٧/٥/٣(أ) طريقة العناصر المحددة

لدراسة اتزان الميول الصخرية باستخدام إحدى طرق التحليل العددى numerical analysis وهى طريقة العناصر المحددة finite elements يتم تمثيل مستويات الانفصال كما هى فى الموقع كما يمكن تمثيل الأنواع المختلفة من الصخور والتعامل معها علي أنها بلوكات قوية أو علي أنها تربة (بعد تأثرها ببعض العوامل كالمياه مثلاً) يمكن أن يحدث لها تشكلات دائمة ، أي أنه يمكن الدمج فى نموذج واحد بين طبقات الصخر القوية وطبقات التربة التي يمكن أن تتشكل وتصل إلى مراحل اللدونة . ويحتاج ذلك إلى تعيين معملي لمعاملات القص للصخر السليم intact rock وتعيين معاملات القص لمستويات الانفصال لاستخدامها في النموذج المستخدم.

١٠/٧/٥/٣(ب) طريقة العناصر المميزة

في طريقة العناصر المميزة distinct elements يتم الأخذ فى الاعتبار دراسة ميكانيكية الحركة لمجموعة من البلوكات المتراصة بجوار بعضها حيث أن كل بلوك يؤثر على البلوك المجاور له طبقا لقوانين الحركة بقوه تساوى قيمة حاصل ضرب الكتلة فى العجلة، مع وضع قوى الاحتكاك التى تنشأ فى عكس اتجاه الحركة ومساوية لحاصل ضرب رد الفعل العمودى فى معامل الاحتكاك. والتحليل بهذه الطريقة فى حالة مجموعة كبيرة من البلوكات معقد للغاية ويحتاج لاستخدام برامج الحاسب الآلي تتناول هذه المشاكل. الشكل رقم (١٠-١٧) يوضح نموذج انهيار مجموعة من البلوكات المتراصة بعضها إلى بعض عندما نقصت زاوية الاحتكاك بينهم من ٤٠ إلى ٣٧ درجة على سبيل المثال.

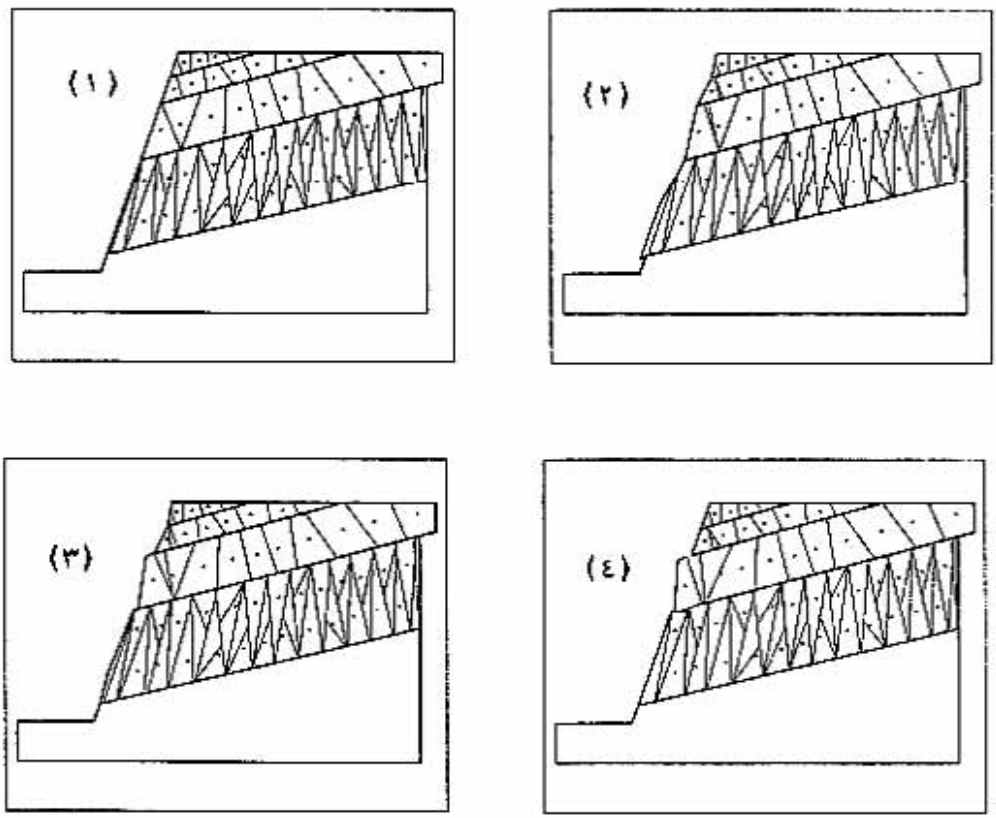
١٠/٧/٥/٣(ج) طريقة نظرية البلوكات

فى طريقة نظرية البلوكات block theory يتم دراسة مجموعة من البلوكات المتجاورة والمتلامسة ودراسة قوى رد الفعل والاحتكاك بينها. ويتم تحديد البلوك او عدد من البلوكات المؤثرة على اتزان المجموعة ثم يتم تعيين القوى اللازمة لحفظ اتزان هذه البلوكات وبالتالى استقرار المجموعة كلها. وقد أمكن إعداد وتطوير برامج على الحاسب الآلي للاستفادة من هذه النظرية.

وجدير بالذكر أن طريقتى العناصر المميزة ونظرية البلوكات تتعامل فقط مع الحركات بين كتل من الصخر ولا تتعامل مع الحركة داخل هذه الكتل من شروخ أو نحر أو ضعف فى المقاومة لاجهادات القص بسبب التعرض للمياه.

٦/٧/١٠ معامل الأمان

فى حالة دراسة اتزان وثبات الميول للكتلة الصخرية ، فإنه لابد أن تكون اجهادات القص الفعلية للكتلة الصخرية على مستويات الانهيار أقل من المقاومة القصوى لها بحيث يجب ألا تقل النسبة بينهما عن ٢ .



شكل (١٠-١٧) مراحل انهيار مجموعة من البلوكات بعد تقليل قيمة الزاوية Φ من 40^{o} إلى 37^{o}

٨/١٠ نظم تثبيت الكتل الصخرية وربط المنشآت في الصخر

١/٨/١٠ مقدمة

يحتوى هذا الباب على تعريف بالعناصر المستخدمة فى تثبيت و تقوية الكتل الصخرية و ربط أساسات المنشآت بها مثل شدادات الصخر rock anchors ومسامير الصخر rock bolts وأوتاد الصخر rock dowels و الوسائل المساعدة الأخرى مثل الخرسانة المرشوشة sprayed concrete و شبكات السلك و غيرها . كما يحوى الباب شرحاً لطرق تصميم بعض هذه الوسائل و العوامل و الاحتياطات الواجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار أو تنفيذ أو اختبار هذه الوسائل . و يلاحظ أن اختيار نوع التقوية يعتمد على توفر قدر كاف من الخبرة و حسن التقدير بالإضافة إلى الاستعانة بنظم تصنيف الصخور و بعض القواعد التجريبية المتوافرة بالمراجع المختلفة .

٢/٨/١٠ تعريفات

١/٢/٨/١٠ شداد الصخر

عنصر تقوية مشدود tensioned reinforced element ذو قوة تحمل عالية (مقارنة بمسمار الصخر) يستخدم فى نقل قوى الشد إلى طبقات أو مواضع من الصخر قادرة على تحملها ويتكون من وتر من الصلب عالى المقاومة على هيئة أسلاك أو قضيب ومتصل فى نهايته الداخلية داخل الكتلة الصخرية بجزء مثبت محقون ومزود عند نهايته الخارجية بوسيلة لشد الوتر ونقل الحمل إلى الكتلة الصخرية عن طريق الشد المباشر direct pull.

٢/٢/٨/١٠ مسمار الصخر

عنصر تقوية مشدود يستخدم في ربط الكتل الصخرية معا لتحسين مقاومتها لاجهادات القص أو الانزلاق على مستويات الانفصال ويتكون من قضيب مثبت عند نهايته داخل الكتلة الصخرية بوسيلة ميكانيكية أو بالحقن ومن لوح وصامولة عند نهايته الخارجية تستخدمان فى عملية شد المسمار سواء عن طريق الشد المباشر direct pull أو ربط الصامولة torquing.

١٠/٨/٢/٣ وتد الصخر

عنصر تقوية غير مشدود untensioned reinforcement element ويتكون من قضيب محاط بمونة أسمنتية أو مادة حقن داخل ثقب بالكتلة الصخرية.

١٠/٨/٢/٤ الشدادات والمسامير الدائمة -

هى الشدادات و المسامير المنفذة لضمان اتزان وسلامة المنشأ أو الحفر المراد تثبيته بصفة دائمة.

١٠/٨/٢/٥ الشدادات والمسامير المؤقتة

هى الشدادات و المسامير المنفذة لضمان اتزان وسلامة المنشأ أو الحفر المراد تثبيته لمدة محدودة أثناء الإنشاء لاتزيد عن سنتين.

١٠/٨/٣ شدادات الصخر

تستخدم شدادات الصخر فى منع انزلاق أو انقلاب الأساسات المرتكزة على كتل صخرية و المعرضة لأحمال جانبية، و كذلك لسند جوانب الحفر و تأمين الحوائط الساندة و السدود ، كما تستخدم لتثبيت و تقوية الكتل الصخرية ذاتها لمنع ظواهر الإنزلاق أو السقوط ، و فى تثبيت أسقف الأنفاق الصخرية و المناجم عن طريق ربط الكتل الصخرية و تحسين مقاومة أسطح الانفصال لاجهادات القص .

١٠/٨/٣/١ أجزاء الشداد

يتكون شداد الصخر من جزئين رئيسيين هما رأس الشداد anchor head والوتر tendon ، وينقسم الوتر إلى جزئين هما الطـــول الحـــر free length من الوتر والطول الثابت fixed length (أو طول الرباط bond length) وهو الجزء المحقون من الوتر كما هو مبين بالشكل (١٠-١٨) ، و يكون الوتر على شكل قضيب صلب أو جدائل strands من الصلب عالى المقاومة .

١٠/٨/٢/٣ وتد الصخر

عنصر تقوية غير مشدود untensioned reinforcement element ويتكون من قضيب محاط بمونة أسمنتية أو مادة حقن داخل ثقب بالكتلة الصخرية.

١٠/٨/٢/٤ الشدادات والمسامير الدائمة -

هى الشدادات و المسامير المنفذة لضمان اتزان وسلامة المنشأ أو الحفر المراد تثبيته بصفة دائمة.

١٠/٨/٢/٥ الشدادات والمسامير المؤقتة

هى الشدادات و المسامير المنفذة لضمان اتزان وسلامة المنشأ أو الحفر المراد تثبيته لمدة محدودة أثناء الإنشاء لاتزيد عن سنتين.

١٠/٨/٣ شدادات الصخر

تستخدم شدادات الصخر فى منع انزلاق أو انقلاب الأساسات المرتكزة على كتل صخرية و المعرضة لأحمال جانبية، و كذلك لسند جوانب الحفر و تأمين الحوائط الساندة و السدود ، كما تستخدم لتثبيت و تقوية الكتل الصخرية ذاتها لمنع ظواهر الإنزلاق أو السقوط ، و فى تثبيت أسقف الأنفاق الصخرية و المناجم عن طريق ربط الكتل الصخرية و تحسين مقاومة أسطح الانفصال لاجهادات القص .

١٠/٨/٣/١ أجزاء الشداد

يتكون شداد الصخر من جزئين رئيسيين هما رأس الشداد anchor head والوتر tendon ، وينقسم الوتر إلى جزئين هما الطـــول الحـــر free length من الوتر والطول الثابت fixed length (أو طول الرباط bond length) وهو الجزء المحقون من الوتر كما هو مبين بالشكل (١٠-١٨) ، و يكون الوتر على شكل قضيب صلب أو جدائل strands من الصلب عالى المقاومة .

١٠/٨/٣/١(أ) رأس الشداد

وهى الجزء من الشداد الذى يقوم بنقل حمل الشد من الوتر إلى سطح الأرض أو المنشأ أو الكتلة الصخرية المطلوب تدعيمها أو تقويتها وتتكون رأس الشداد من الجزئيين التاليين:

- رأس الشد stressing head : وهو الجزء الذى يتم من خلاله ربط الوتر برأس الشداد وفى حالة استخدام الكابلات كوتر، تكون رأس الشد على شكل لوح من الصلب به ثقوب مسلوبة tapered holes حتى يمكن من خلالها وضع خوابير حول الكابلات لتثبيتها بعد شدها، أما فى حالة استخدام قضيب صلب كوتر فتكون رأس الشد عبارة عن صامولة ربط فقط.

- لوح التحميل bearing plate : وهو لوح من الصلب لنقل و توزيع حمل الوتر إلى المنشأ مباشرة أو خلال كتلة خرسانية أو إلى الكتلة الصخرية المراد تقويتها مباشرة.

ويجب أن يصمم كل من رأس الشد ولوح التحميل بحيث تتحمل أقصى قوة يمكن التأثير بها على الشداد سواء أثناء التشغيل أو الاختبار. كما يلاحظ أن بعض أنواع رؤوس الشد يمكن أن تجهز بطريقة تسمح بتخفيض الحمل أو إعادة الشد طبقا لمتطلبات التصميم والمراقبة والاختبار بالمشروع.

١٠/٨/٣/١(ب) الطول الثابت

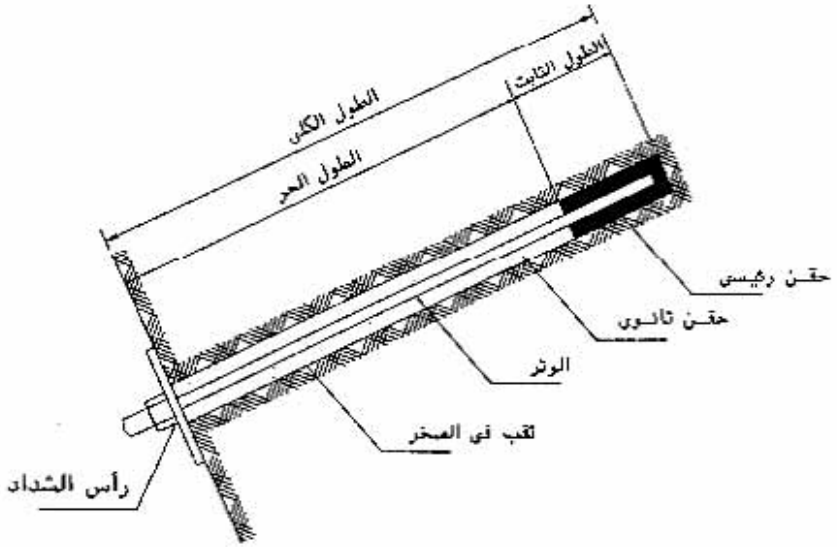
وهو الجزء المحقون من الوتر والذى يقوم بنقل قوى الشد إلى الكتلة الصخرية المحيطة به.

١٠/٨/٣/١(ج) الطول الحر

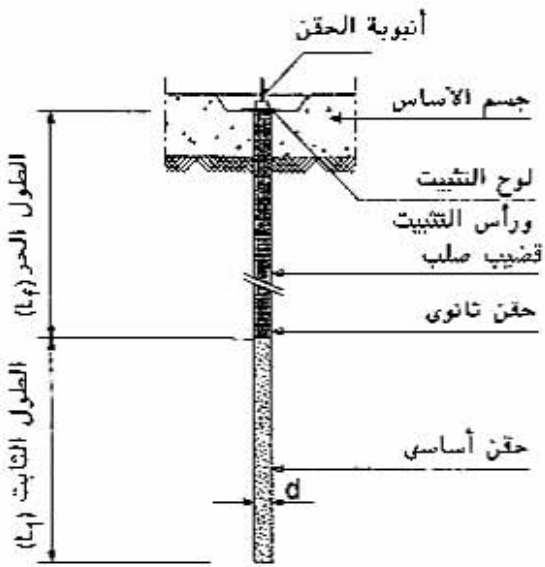
وهو الجزء الذى يتم من خلاله نقل حمل الشد من رأس الشداد إلى الجزء الثابت، وهو الطول الممتد من بداية الجزء الثابت وحتى رأس الشداد وهو معزول عن الكتلة الصخرية المحيطة به ، ويعتبر الطول الكلى للشداد هو مجموع الطول الحر والطول الثابت.

١٠/٨/٣/٢ طرق التحليل للشدادات الرأسية

يتم تحليل نظم الشدادات بحيث تقلل من مخاطر الانهيار بانزلاق كتل الصخر على المستويات التي تكون عندها مقاومة القص أقل قيمة ممكنة، و فى حالة الشدادات الرأسية المستخدمة فى ربط الأساس بالصخر كما هو مبين بالشكل (١٠-١٩) ، يفترض أن كتلة الصخر المنهارة تأخذ شكل

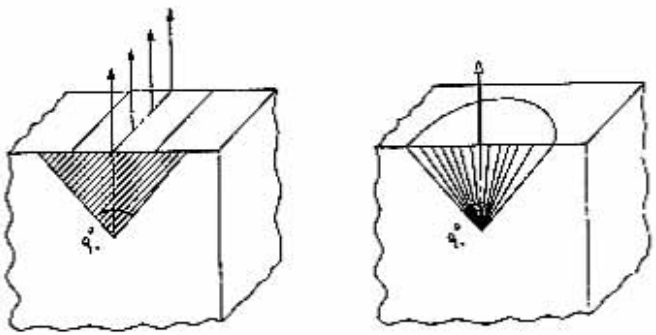


شكل (١٠-١٨) عناصر الشداد



شكل (١٠-١٩) استخدام الشداد فى ربط الأساس بالصخر

مخروط (زاوية رأسه ٩٠ درجة) داخل الكتلة الصخرية وقاعدته إلى أعلى كما هو مبين بالشكل (١٠-٢٠).



(ب) (أ)

شكل (١٠-٢٠) شكل الانهيار لكتلة الصخر

عند تصميم الشدادات : يجب دراسة الاتزان الكلى (overall stability) أولاً واستنتاج ما يلى:

(D) عمق التثبيت المطلوب	required depth of anchorage
تأثير تداخل الشدادات	group effect
(L_f) الطول الثابت	fixed anchor length
(L_f) الطول الحر	free anchor length

١٠/٨/٣/٢(أ) دراسة الاتزان

تنتقل قوى الشد من العنصر المشدود إلى كتلة الصخر خلال مادة الحقن، ويعتمد تصميم الشداد على تقدير العمق المدفون للشداد والذى بدوره يعتمد على جودة الصخر ، ويعتبر العمق المدفون للشداد مساوياً لارتفاع مخروط الانهيار الذي يؤخذ فى الاعتبار، ويقدر عمق مخروط الانهيار D وفقا لحالة الصخر كالآتى:

١- فى حالة التعامل مع صخر جيد مع توافر معلومات كافية عن قدرة تحمل الشد من تجارب شد سابقة يمكن اعتبار أن رأس المخروط تبدأ من نهاية الطول الثابت للشداد كما هو موضح بالشكل (١٠-٢١أ) .

$$D = L_f + L_1 \qquad (٢٤-١٠)$$

٢ – فى حالة التعامل مع صخر جيد ولكن لا تتوافر معلومات من تجارب شد ، أو فى حالة الصخر الضعيف والصخر كثير الفواصل فإنه يمكن عند إجراء التصميم الابتدائى اعتبار أن رأس المخروط تبدأ من منتصف الطول الثابت للشداد كما هو موضح بالشكل (١٠-٢١ب).

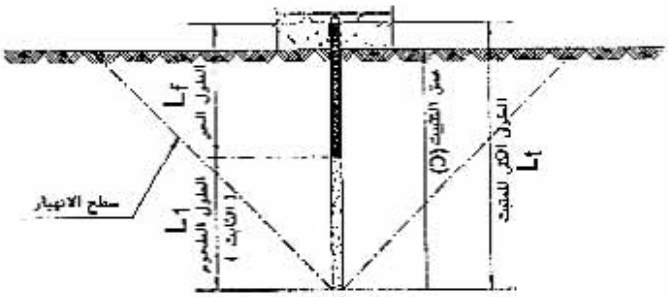
$$D = L_f + L_1/2 \qquad (٢٥-١٠)$$

٣ – فى حالة التعامل مع صخر ضعيف جداً وكثير الفواصل فيعتبر أن رأس المخروط تبدأ من أعلى الطول المحقون للشداد كما هو موضح بالشكل (١٠-٢١ج) .

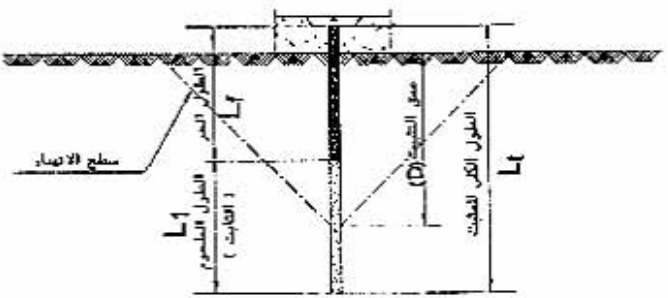
$$D = L_f \qquad (٢٦-١٠)$$

يتضمن تصميم الشدادات تحديد عددها وعمق التثبيت وعدد الصفوف والمسافات بينها مع مراعاة تقليل التداخل بين مناطق تأثير الشدادات ويتطلب ذلك معـرفة الآتي:

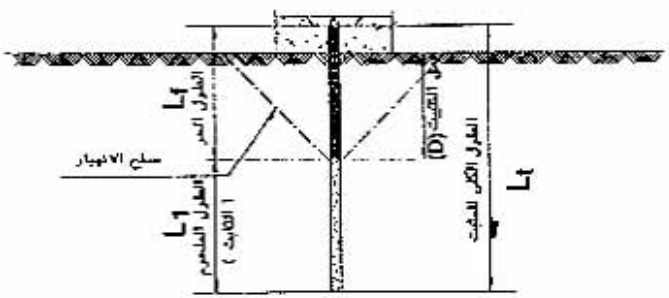
- حمل التشغيل للشداد
- طول الجزء الثابت من الشداد
- المسافة بين الشدادات s والحد الأدنى لها أربعة أمثال قطر الثقب
- المسافة بين صفوف الشدادات إن كان التثبيت في حاجة لأكثر من صف واحد
- مقاومة مادة الحقن
- مقدار التماسك للكتلة الصخرية
- زاوية مقاومة القص الفعالة للصخر
- وزن وحدة الحجوم للصخر ، وفى حالة وجود الصخر مغموراً تحت سطح المياه الجوفية تؤخذ وزن وحدة الحجوم المغمورة



(أ) حالة صخر جيد مع توافر معلومات عن تجارب الشد



(ب) حالة صخر جيد مع عدم توافر معلومات عن تجارب الشد



(ج) حالة صخر ضعيف جداً

شكل (١٠-٢١) أشكال الانهيار المحتملة المستخدمة في تحليل الشدادات الرأسية

- معامل الأمان ضد الانزلاق .
- معاملات الأمان ضد أنواع الانهيار الأخرى مثل الانهيار بين الكتل الصخرية والمادة اللاحمة أو الانهيار بين المادة اللاحمة والشداد أو انهيار الوتر ذاته بالشد .

١٠/٨/٣/٢(ب) طرق حساب طول الشداد

يتم حساب طول الشداد بدراسة الاتزان العام للكتلة الصخرية التى من المحتمل انزلاقها مع الأخذ فى الاعتبار مقاومة القص على السطح الخارجي لمخروط الانزلاق مع فرض عدم تأثر حمل التشغيل للشداد بالقوى الخارجية المؤثرة على المنشأ وكذلك الإجهادات الداخلية فى الكتلة الصخرية مع الأخذ في الاعتبار معاملات الأمان المناسبة.

(ب-١) حساب الطول الثابت

يستنتج الطول الثابت للشداد وفقا لما يلى :

$$T_w = \pi d L_1 \tau \qquad (١٠-٢٧أ)$$

$$\tau = 0.5\ \tau_{ult} \qquad (١٠-٢٧ب)$$

حيث :

- T حمل التشغيل للشداد
- d قطر الثقب الفعال ويعتمد على نوع الشداد
- L_1 طول الجزء الثابت من الشداد
- τ المقاومة التشغيلية لمادة الحقن
- τ_{ult} قدرة التلاحم القصوى بين الصخر ومادة الحقن وهى تساوى ١/١٠ من مقاومة الضغط غير المحاط للصخر أو لمادة الحقن أيهما أقل و بحيث لاتزيد قيمتها عن ٤ نيوتن / مم^2 (٤٠ كجم/ سم^2) ، أما فى حالة الصخور الضعيفة (قوة الضغط غير المحاط أقل من ٧ نيوتن / مم^2 (٧٠ كجم/ سم^2) فإنه يجب إجراء تجارب قص لتحديد τ_{ult} .

(ب-٢) عمق التثبيت

يعتمد عمق التثبيت للشداد على طبيعة الكتلة الصخرية المدفون داخلها وعلى نمط توزيع الشدادات (شداد مفرد أو صف واحد أو عدة صفوف) ، ويعتبر عمق التثبيت هو العمق اللازم لتوليد قوة الشد اللازمة للاتزان، ويتم حسابه كالآتى:

ب-٢-١ فى حالة استخدام شداد مفرد في صخر جيد

يمكن تقدير عمق التثبيت المطلوب (D) طبقاً للحالات المعرفة بالشكل (١٠-٢١) من المعادلة التالية:

$$D = \left[\frac{(FS)\ (T_w)}{\pi c} \right]^{1/2} \qquad (١٠-٢٨)$$

حيث :

FS معامل الأمان و تؤخذ قيمته طبقاً للبند (٣/٣/٨/١٠(د))

c مقدار التماسك للكتلة الصخرية

T الحمل التشغيلى للشداد و يساوى القوة اللازمة للاتزان

ب-٢-٢ في حالة استخدام صف مفرد من الشدادات في صخر جيد

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) من المعادلة التالية:

$$D = \frac{FS \cdot T}{c\ s} \qquad (١٠-٢٩)$$

حيث:

s المسافة بين الشدادات

ب-٢-٣ فى حالة استخدام عدة صفوف من الشدادات فى صخر جيد

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) من المعادلة التالية:

$$D = \frac{FS \cdot T_w}{1\ s\ \gamma} \qquad (١٠-٣٠)$$

حيث :

γ وزن وحدة الحجوم الفعالة للصخر

1 المسافة بين صفوف الشدادات

ب-٢-٤ في حالة شداد مفرد في صخر كثير الفواصل

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) من المعادلة التالية:

$$D = \left[\frac{3FS.T_w}{\pi\gamma} \right]^{1/3} \qquad (٣١-١٠)$$

ب-٢-٥ في حالة استخدام صف مفرد من الشدادات في صخر كثير الفواصل

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) من المعادلة التالية:

$$D = \left[\frac{FS.T_w}{\gamma\ S} \right]^{1/2} \qquad (٣٢-١٠)$$

ب-٢-٦ في حالة استخدام صفوف من الشدادات في صخر كثير الفواصل

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) باستخدام المعادلة (١٠-٣٠) أيضاً.

يلاحظ أن عمق التثبيت (D) يعتبر هو مخروط الانهيار المشار إليه في بند (١٠/٨/٣/٢(أ)) ، و بمعلومية الطول الثابت من المعادلات (١٠-٢٧ أ ، ب) يتم تحديد الطول الإجمالي للشداد .

١٠/٨/٣/٣ اعتبارات التصميم

(أ) للحفاظ على كفاءة عمل الشدادات خلال عمرها الافتراضي يجب أن تكون المادة المصنوع منها الشداد والمادة اللاحمة ذات جودة عالية كما يلزم إجراء التحاليل الكيميائية اللازمة للصخر والمياه الأرضية للتعرف على نسب الكلوريدات و الكبريتات ومدى عدوانيتها على مادة الحقن اللاحمة وعناصر الشدادات كما يجب التأكد من خلو الجسم المحقون من الشروخ المؤثرة والتي يمكن أن تسبب تآكل عناصر الشداد ، و يجب أن تستخدم نتائج التحليل الكيميائي في تحديد مقدار الحماية من التآكل corrosion protection الواجب توفيرها لعناصر الشداد .

(ب) تعتمد أطوال الشدادات الكلية المستنتجة من المعادلات السابقة على وجود تلاحم كاف بين الصخر والشداد بحيث يحدث الانهيار في كتلة الصخر ولا يحدث بسبب انزلاق بين كتلة الحقن والشداد أو بين كتلة الحقن والصخر مع مراعاة ألا تقل قيم الطول الثابت للشدادات عن ٣ متر ويفضل ألا تزيد عن ١٠ متر لضمان الاستفادة القصوى من الطول الثابت .

ب-٢-٤ في حالة شداد مفرد في صخر كثير الفواصل

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) من المعادلة التالية:

$$D = \left[\frac{3FS.T_w}{\pi\gamma} \right]^{1/3} \qquad (٣١-١٠)$$

ب-٢-٥ في حالة استخدام صف مفرد من الشدادات في صخر كثير الفواصل

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) من المعادلة التالية:

$$D = \left[\frac{FS.T_w}{\gamma\ S} \right]^{1/2} \qquad (٣٢-١٠)$$

ب-٢-٦ في حالة استخدام صفوف من الشدادات في صخر كثير الفواصل

يمكن تقدير عمق التثبيت (D) باستخدام المعادلة (١٠-٣٠) أيضاً.

يلاحظ أن عمق التثبيت (D) يعتبر هو مخروط الانهيار المشار إليه في بند (١٠/٨/٣/٢(أ)) ، و بمعلومية الطول الثابت من المعادلات (١٠-٢٧ أ ، ب) يتم تحديد الطول الإجمالي للشداد .

١٠/٨/٣/٣ اعتبارات التصميم

(أ) للحفاظ على كفاءة عمل الشدادات خلال عمرها الافتراضي يجب أن تكون المادة المصنوع منها الشداد والمادة اللاحمة ذات جودة عالية كما يلزم إجراء التحاليل الكيميائية اللازمة للصخر والمياه الأرضية للتعرف على نسب الكلوريدات و الكبريتات ومدى عدوانيتها على مادة الحقن اللاحمة وعناصر الشدادات كما يجب التأكد من خلو الجسم المحقون من الشروخ المؤثرة والتي يمكن أن تسبب تآكل عناصر الشداد ، و يجب أن تستخدم نتائج التحليل الكيميائي في تحديد مقدار الحماية من التآكل corrosion protection الواجب توفيرها لعناصر الشداد .

(ب) تعتمد أطوال الشدادات الكلية المستنتجة من المعادلات السابقة على وجود تلاحم كاف بين الصخر والشداد بحيث يحدث الانهيار في كتلة الصخر ولا يحدث بسبب انزلاق بين كتلة الحقن والشداد أو بين كتلة الحقن والصخر مع مراعاة ألا تقل قيم الطول الثابت للشدادات عن ٣ متر ويفضل ألا تزيد عن ١٠ متر لضمان الاستفادة القصوى من الطول الثابت .

(ج) يجب ألا تقل المسافة الرأسية بين الجزء المحقون من الشداد الأفقى أو المائل والأساسات الضحلة عن ٥ متر .

(د) فى المعادلات التى يعتمد فيها الطـــول المدفون للشداد على وزن الكتلة الصخرية (المعادلات (١٠-٣٠) ، (١٠-٣١) ، (١٠-٣٢)) يجب ألا يقل معامل الأمان عن ١,٥ للشدادات المؤقتة ، ٣ للشدادات الدائمة ، أما المعادلات التى يعتمد فيها الطـــول المدفون للشداد على مقاومة الصخر لاجهادات القص (المعادلات (١٠-٢٨) ، (١٠-٢٩)) فيجب ألا يقل معامل الأمان عن ٢ للشدادات المؤقتة ، ٤ للشدادات الدائمة.

١٠/٨/٣/٤ اختبار الشدادات

يتم اختبار الشدادات على ثلاث مراحل هى :

١- اختبارات الصلاحية proving tests .

٢- اختبارات الملاءمة الحقلية on-site suitability tests .

٣- اختبارات القبول acceptance tests .

ويجوز الاستغناء عن اختبارات الصلاحية تبعاً لمقدار المعلومات المتوفرة عن أداء الشدادات المزمع استخدامها فى صخر مشابه الخصائص .

١٠/٨/٣/٤ (أ) اختبارات الصلاحية

(أ ١) عام

تعتبر اختبارات الصلاحية اختبارات ابتدائية تفصيلية تتم في المصنع والمعمل وتتم قبل التعاقد والتنفيذ للتأكد من نوعية وجودة ومناسبة النظام المقترح من حيث عناصر الشداد والمواد المختلفة الداخلة في تركيبه وطريقة تنفيذه وطريقة تصميم النظام مع مراعاة ملاءمته للغرض منه ولخصائص الكتلة الصخرية المراد تثبيتها مع التدقيق في الطرق المستخدمة لمنع تآكل الشداد والحفاظ على سلامته أثناء النقل والتخزين والتركيب . تجرى هذه المرحلة من الاختبار إذا لم تتوفر درجة كافية من الخبرة والثقة بالمعلومات المتعلقة بالشداد المزمع استخدامه وجميع مكوناته وفى أدائه في ظروف جيوتقنية وبيئية قريبة من تلك التي سيستخدم فيها.

تجرى هذه الاختبارات في ظروف تماثل ظروف التشغيل لعدد لا يقل عن ثلاث شدادات تنفذ خصيصا لدراسة سلوك الشداد مع الزمن و كذلك سلوك النظام المستخدم لرأس الشداد وسلوك

مادة الحقن وسلوك الشداد مع مادة الحقن ومع الوسط الصخرى المحيط بنظام التثبيت فى جميع مراحل التنفيذ و التثبيت والتحميل.

في الحالات الخاصة يمكن أن تجرى الاختبارات حتى الانهيار أما فى الحالات العادية فيتم التحميل للوصول إلى اجهادات تكافئ ٨٠ % من إجهاد الشد الأقصى لمادة الوتر (F_{pu}).

يخضع الشداد فى هذا الاختبار لنوعين من اختبارات التحميل ، اختبار تحت تأثير حمل متكرر cyclic loading و اختبار تحت تأثير حمل ثابت . و لا يعتبر الاختبار مقبولاً إلا إذا استوفى معايير القبول للنوعين من الاختبارات طبقاً لما هو موضح بالبندين (١٠/٨/٣/٤ أ-٣ ، أ- ٥) .

(أ-٢) اختبار الصلاحية: اختبار الحمل المتكرر

وفيها يتم تحميل الشداد تحت تأثير حمل متكرر لدراسة سلوك الشداد فى المدى القصير short term behavior و ذلك باتباع الإرشادات التالية:

أ-٢-١ يجب التأكد من سلامة وملاءمة أجهزة قياس التشكلات والضغط والأجهزة الخاصة بالتحميل وكذلك معايرتها خلال فترة تسبق تاريخ الاختبار لمدة لا تزيد عن ثلاثة أشهر .

أ-٢-٢ يتم التحميل المتكرر بأحمال تتراوح بين ٥ % إلى ٨٠ % من إجهاد الشد الأقصى لمادة الشداد (F_{pu}) و تتبع طريقة التحميل الواردة بجدول (١٠-١٩) عندما لا تتوافر أى معلومات عن الوسط الصخري المراد تثبيته وجدول (١٠-٢٠) عندما تتوافر معلومات كافية عن الشداد والوسط الصخرى.

أ-٢-٣ يتم التسجيل المستمر لسلوك الشداد في مراحل التحميل المختلفة أثناء زيادة التحميل وتخفيضه مع ملاحظة أنه بعد كل مرحلة من مراحل التحميل يثبت الحمل لمدة دقيقة واحدة ويتم تسجيل الازاحات عند بداية ونهاية كل مرحلة من مراحل التحميل كما يتم تسجيل الازاحات أثناء التحميل وأثناء رفع التحميل كل ٥ دقائق .

أ-٢-٤ بعد الانتهاء من التجارب ترسم النتائج كعلاقة بين الإزاحة والحمل مع توضيح دورات التحميل كما هو مبين بالشكل (١٠-٢٢).

جدول (١٠-١٩) : نظام تحميل الشداد المتبع فى حالة عدم توافر معلومات عن الصخر أو عدم توافر خبرة سابقة عن ظروف التشغيل

دورة التحميل الأولى	دورة التحميل الثانية	دورة التحميل الثالثة	دورة التحميل الرابعة	دورة التحميل الخامسة	دورة التحميل السادسة	دورتا التحميل السابعة والثامنة	الحد الأدنى لفترة الملاحظة
% من (F_{pu})	% من (F_{pu})	% من (F_{pu})	% من (F_{pu})	% من (F_{pu})	% من (F_{pu})	% من (F_{pu})	دقيقة
٥	٥	٥	٥	٥	٥	٥	١
١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	١
١٥	٢٥	٣٥	٤٥	٥٥	٦٥	٧٥	١
٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	١٥
١٥	٢٠	٣٠	٤٠	٤٠	٥٠	٥٠	١
١٠	١٠	١٥	٢٠	٢٠	٣٠	٣٠	١
٥	٥	٥	٥	٥	٥	٥	١

ملحوظة : ينصح بتوقيع نتائج التحميل والاستطالة أولاً بأول خلال الاختبار حتى يمكن ملاحظة أى مؤشرات للانهيار وخاصة تلك التى تدل على انفلات الجزء الثابت من الشداد من الصخر المحيط به.

جدول (١٠-٢٠) : نظام تحميل الشداد المتبع فى اختبار الصلاحية في حالة توافر معلومات عن الصخر أو توافر خبرة سابقة عن ظروف التشغيل

دورة التحميل الاولى	فترة الملاحظة	دورة التحميل الثانية	فترة الملاحظة
% من (F_{pu})	دقيقة	% من (F_{pu})	دقيقة
٥	١	٥	١
١٠	١	٣٠	١
٢٠	١	٤٠	١
٣٠	١	٥٠	١
٤٠	١	٦٠	١
٥٠	١	٧٠	١
٦٠	١٥	٨٠	١٥
٤٠	١	٥٠	١
٢٠	١	٣٠	١
٥	١	٥	١

(أ-٣) معايير القبول في اختبار الصلاحية تحت تأثير حمل متكرر

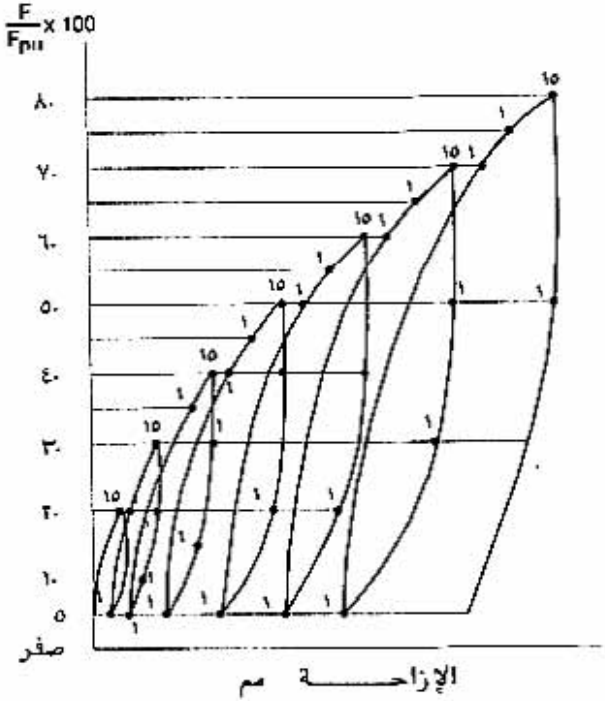
يستنتج الطول الحر الظاهري للشداد apparent free length (L_a) باستخدام النتائج المقاسة في الدورة السابعة من جدول (١٠-١٩) أو الدورة الثانية من جدول (١٠-٢٠) كالآتي :

$$L_a = \frac{A_t E_s \Delta e}{T} \qquad (١٠-٣٣)$$

حيث:

A_t مساحة مقطع الشداد

E_s معاير المرونة لمادة الشداد



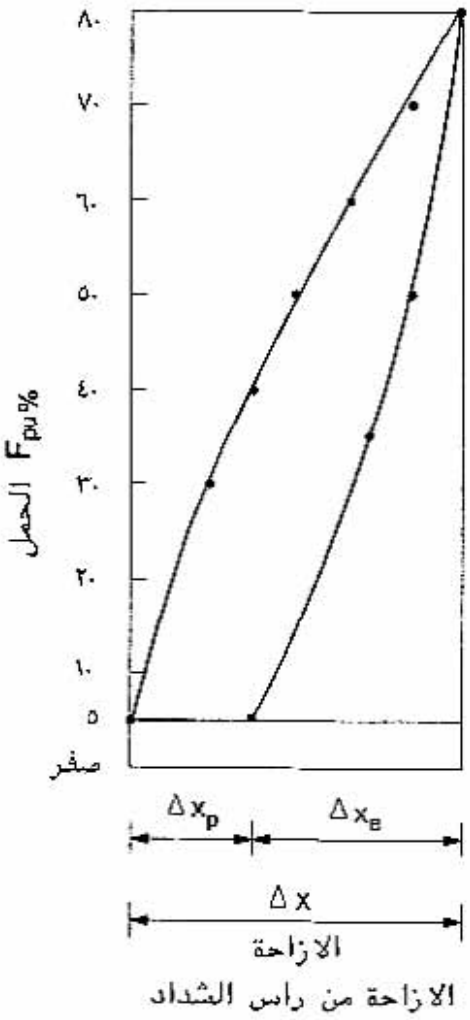
شكل (١٠-٢٢) الإزاحة المرنة اللدنة

Δe مقدار الإزاحة المرنة – شكل (١٠-٢٣)

T الحمل الأقصى المؤثر و يساوى الحمل الأقصى (عند ٨٠ % F_{pu}) مطروحا منه الحمل الابتدائى (عند ٥% F_{pu}) – في الدورة السابعة بالجدول (١٠-١٩) أو الثانية بالجدول (١٠-٢٠) .

يعتبر الطول الظاهري للشداد L_a مقبولاً عند مقارنته بالطول الحر L_f المستنتج من التصميم عندما يتوفر الشرط الآتى :

$$(90\%\ L_f) < L_a < (L_f + 0.5\ L_1) \qquad (١٠-٣٤)$$



شكل (١٠-٢٣) الإزاحة المرنة واللدنة

أما فى حالة طول ثابت قصير نسبياً و كذلك فى حالة الشدادات المضغوطة.

compression anchors فيستخدم الشرط التالى:

$$(90\%\ L_f) < L_a < (110\%L_f) \qquad (١٠-٣٥)$$

وتستنتج القيمة النظرية للاستطالة المرنة فى أى دورة من المعادلة الآتية :

$$\Delta e = T. L_d / A_t . E_s \qquad (٣٦-١٠)$$

حيث :

T الحمل الأقصى المؤثر كما سبق تعريفه

Δe استطالة الشد المرنة للشداد عند الحمل المؤثر

L_d الطول الحر التصميمى

(أ-٤) اختبار الصلاحية : اختيار الحمل الثابت

وهى تجارب تحميل للشداد تجرى تحت تأثير حمل ثابت لمدة طويلة نسبياً لدراسة سلوك الشداد في المـــــدى البعيد long term behavior.

- يتم تحميل الشـــــداد بحمل ثابت وذلك في حدود اجهادات لاتزيد عن ٧٠ % من (F_{pu}) للشدادات الدائمة و٥٥ % من (F_{pu}) للشدادات المؤقتة مع مراقبة الحمل مع الزمن لفترة لا تقل عن عشرة أيام ويجب ألا يتعدى الفاقد في الحمل المتبقي الابتدائي initial residual load عن النسب المسموح بها في جدول (١٠-٢١) .

ويجب أن يكون الحمل المتبقي الابتدائي الذى تبدأ عنده الملاحظة يكافئ ١١٠ % من حمل التشغيل للشداد (T_w).

يمكن بدلاً من مراقبة الحمل مع الزمن أن تتم مراقبة الإزاحة مع الزمن لفترة لا تقل عن عشرة أيام ويجب ألا يتعدى الفاقد في الإزاحة النسب المسموح بها فى جدول (١٠-٢١).

أ-٥) معايير القبول في اختبار الصلاحية تحت تأثير حمل ثابت

في حالة عدم ثبات القراءة فى نهاية فترة الاختبار (بعد أخذ عوامل الحرارة والزحف وحركة المنشأ نفسه في الاعتبار) تستمر مراقبة الحمل أو الإزاحة مع الزمن مرة كل أسبوع وذلك لفترة تصل إلى ٣٠ يوماً أو حتى ثبات الحمل (أو الإزاحة) أيهما أقرب ، وإذا لم تثبت قراءات الحمل أو الإزاحة خلال هذه المدة يعتبر الشداد غير مطابق لمتطلبات هذا الكود.

جدول (١٠-٢١) : معايير القبول فى اختبار الصلاحية تحت تأثير حمل ثابت

زمن تسجيل النتائج	الحمل المفقود المسموح به (% من الإجهاد المتبقى الابتدائى)	الإزاحة المفقودة المسموح بها (% من إزاحة الشد المرنة للشداد عند الإجهاد المتبقى الابتدائى)
٥ دقائق	١	١
١٥ دقيقة	٢	٢
٥٠ دقيقة	٣	٣
١٥٠ دقيقة	٤	٤
٥٠٠ دقيقة	٥	٥
١ يوم	٦	٦
٣ أيام	٧	٧
١٠ أيام	٨	٨

١٠/٨/٣/٤(ب) اختبارات الملاءمة الحقلية

(ب-١) عام

يجب أن تتضمن أعمال تنفيذ الشدادات بأى موقع اختبارات حقلية ابتدائية يمكن من خلالها التأكد من مدى ملاءمة أنواع الشدادات المختلفة المزمع استخدامها لظروف الموقع ذاته ويتم ذلك فى إطار التعاقد وقبل تنفيذ الشدادات العاملة لعدد لا يقل عن ثلاثة شدادات لكل نوع ، و يمكن أن تجرى هذه الاختبارات إما على شدادات ضمن الشدادات العاملة أو على شدادات مخصصة لهذا الغرض بالموقع، ويتم التحميل على النحو المبين بالجدول (١٠-٢٢).

ب-٢) معايير القبول في اختبار التحميل المتكررباختبار الملاءمة الحقلى

يعتبر اختبار الملاءمة مقبولاً إذا استوفت نتائجه الشرطين التاليين:

ب-٢-١) ألا تنقص قيمة حمل الاختبار بمقدار يزيد عن ٥ % - بعد أخذ عوامل الحرارة والزحف وحركة المنشأ في الاعتبار - خلال مدة الملاحظة (أى ١٥ دقيقة) و إذا حدث ذلك ، يلزم تخفيض قيمة الحمل التصميمى للحد المناسب الذى يوفى هذا الشرط. وفى حالة قيـــاس

جدول (١٠-٢٢) : نظام التحميل و فترات الملاحظة فى اختبار الملاءمة الحقلى

شدادات مؤقتة		شدادات دائمة		فترة الملاحظة
دورة التحميل الأولى	دورتا التحميل الثانية والثالثة	دورة التحميل الأولى	دورتا التحميل الثانية والثالثة	
% من (T_w)	% من (T_w)	% من (T_w)	% من (T_w)	دقيقة
١٠	١٠	١٠	١٠	١
٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	١
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١
١٢٥	١٢٥	١٥٠	١٥٠	١٥
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١
٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	١
١٠	١٠	١٠	١٠	١

الإزاحة بدلاً من الحمل، يكون الشرط البديل هو عدم زيادة الاستطالة عن ٥% من الاستطالة المرنة المحسوبة من المعادلة (١٠-٣٦) خلال فترة الملاحظة (أى ١٥ دقيقة).

ب-٢-٢) أن تقع قيمة الاستطالة المرنة المقاسة فى الحدود الموضحة بالمعادلتين (١٠-٣٤) ، (١٠-٣٥) .

ب-٣ اختبار الملاءمة الحقلى : اختبار الحمل الثابت

يتم تحميل الشداد بحمل ثابت يساوى ١١٠% من الحمل التشغيلى و يستمر التحميل لمدة ١٠ أيام و يخضع الشداد لنفس طريقة الاختبار و معايير القبول المذكورة بالبندين (١٠/٨/٣/٤أ-٤ ، أ-٥).

١٠/٨/٣/٤(ج) اختبار القبول للشدادات العاملة

(ج-١) عام

يجب أن يجرى هذا الاختبار على جميع الشدادات العاملة سواء كانت دائمة أو مؤقتة.

(ج-٢) حمل الاختبار الأقصى proof load

يعتبر الشداد مقبولاً إذا استوفى متطلبات ثبات الإزاحة طبقاً للبند (١٠/٨/٣/٤ج-٣) و تدقيق الطول الحر طبقاً للبند (١٠/٨/٣/٤ج-٤) و الإزاحة تحت تأثير الحمل المتبقى طبقاً للبند (١٠/٨/٣/٤ج-٥).

الحمل الأقصى للاختبار هو ١٢٥% من الحمل التشغيلى (T_w) للشدادات المؤقتة ، ١٥٠% من حمل التشغيل (T_w) للشدادات الدائمة.

(ج-٣) قياس الإزاحة مع الزمن تحت تأثير الحمل الأقصى للاختبار

يتم تحميل الشداد على دورتين طبقا للمراحل وفترات القياس الموضحة بالجدول (١٠-٢٣) ، ويجب أن يخضع الشداد لنفس معايير القبول الواردة بالبند (١٠/٨/٣/٤ب-٢) .

(ج-٤) تدقيق الطول الحر للشداد

تستخدم نتائج الدورة الثانية في حساب الطول الحر الظاهري (المعادلة (١٠-٣٦)) وتطبق نفس المعايير الخاصة بذلك والمذكورة بالبند (١٠/٨/٣/٤ب-٢) .

(ج-٥) قياس الإزاحة مع الزمن تحت تأثير الحمل المتبقي

بعد انتهاء التحميل للدورة الثانية يعاد تحميل الشداد حتى ١١٠% من حمل التشغيل ويحبس الحمل عند هذا المستوى. يعاد قراءة قيمة الحمل بعد ذلك مباشرة وتكون هذه القيمة هى القيمة الابتدائية للحمل المتبقى الأصلى والتى سيتم عندها ملاحظة سلوك الشداد لمدة ٥٠ دقيقة حيث تؤخذ القراءات عند ٥ ، ١٥ ، ٥٠ دقيقة باستخدام أجهزة قياس ذات دقة نسبية لا تقل عن ٠,٥ %. ويعتبر الشداد مقبولا إذا كانت نسبة الفاقد فى الحمل لاتزيد عن ١% بين كل قرائتين متتاليين. أما إذا زادت نسبة الفاقد عن هذا الحد فيجب مد فترة الملاحظة إلى عشرة أيام طبقا للجدول (١٠-٢١)، وإذا لم يتمكن الشداد بعد عشرة أيام من الاحتفاظ بقيمة الحمل الموضحة بالجدول (١٠-٢١) ، يعاد النظر فى الشداد إما باستبداله أو بتخفيض الحمل التشغيلى له.

جدول (١٠-٢٣) : نظام التحميل و فترات الملاحظة فى اختبار القبول

شدادات مؤقتة		شدادات دائمة		فترة الملاحظة
دورة التحميل الأولى	دورة التحميل الثانية	دورة التحميل الأولى	دورة التحميل الثانية	
% من (T_w)	% من (T_w)	% من (T_w)	% من (T_w)	دقيقة
١٠	١٠	١٠	١٠	١
٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	١
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١
١٢٥	١٢٥	١٥٠	١٥٠	١٥
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١
٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	١
١٠	١٠	١٠	١٠	١

١٠/٨/٣/٥ حماية الشدادات من الصدأ و التآكل

١٠/٨/٣/٥(أ) درجات الحماية ضد التآكل أو الصدأ

كقاعدة عامة فإن الشدادات الدائمة يجب أن تكون محمية ضد الصدأ ، وتتفاوت درجة هذه الحماية من أقصى درجة ، باستخدام أنظمة حماية مزدوجة double corrosion protection (يستخدم فيها حاجزان لمنع تسرب المياه إلى الوتر) إلى الحماية البسيطة التى تعتمد على غطاء المونة وذلك فى حالة الشدادات ذات الأحمال القليلة و المدفونة فى صخر قليل النفاذية (معامل النفاذية يقل عن $١٠^{-٨}$ متر/ث) أو فى حالة مسامير الصخر قليلة الحمل و المستخدمة فقط كتقوية ثانوية secondary reinforcement .

بالنسبة للشدادات المؤقتة فيتوقع أن تستمر فى العمل لمدة تصل إلى سنتين وهذا هو الحد الفاصل بين الشدادات المؤقتة و الدائمة مع مراعاة أنه فى بعض الظروف الأرضية شديدة العدوانية

جدول (١٠-٢٣) : نظام التحميل و فترات الملاحظة فى اختبار القبول

شدادات مؤقتة		شدادات دائمة		فترة الملاحظة
دورة التحميل الأولى	دورة التحميل الثانية	دورة التحميل الأولى	دورة التحميل الثانية	
% من (T_w)	% من (T_w)	% من (T_w)	% من (T_w)	دقيقة
١٠	١٠	١٠	١٠	١
٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	١
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١
١٢٥	١٢٥	١٥٠	١٥٠	١٥
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١
٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	١
١٠	١٠	١٠	١٠	١

١٠/٨/٣/٥ حماية الشدادات من الصدأ و التآكل

١٠/٨/٣/٥(أ) درجات الحماية ضد التآكل أو الصدأ

كقاعدة عامة فإن الشدادات الدائمة يجب أن تكون محمية ضد الصدأ ، وتتفاوت درجة هذه الحماية من أقصى درجة ، باستخدام أنظمة حماية مزدوجة double corrosion protection (يستخدم فيها حاجزان لمنع تسرب المياه إلى الوتر) إلى الحماية البسيطة التى تعتمد على غطاء المونة وذلك فى حالة الشدادات ذات الأحمال القليلة و المدفونة فى صخر قليل النفاذية (معامل النفاذية يقل عن $١٠^{-٨}$ متر/ث) أو فى حالة مسامير الصخر قليلة الحمل و المستخدمة فقط كتقوية ثانوية secondary reinforcement .

بالنسبة للشدادات المؤقتة فيتوقع أن تستمر فى العمل لمدة تصل إلى سنتين وهذا هو الحد الفاصل بين الشدادات المؤقتة و الدائمة مع مراعاة أنه فى بعض الظروف الأرضية شديدة العدوانية

(أنظر الجدول ١٠-٢٤) أو حيث يوجد خطر التآكل أو الصدأ بالنقر corrosion by pitting فإن الشدادات غير المحمية قد تتآكل بدرجة عالية خلال بضع أسابيع أو شهور .

جدول (١٠-٢٤): درجة عدوانية التربة بدلالة قيم المقاومة الكهربية و جهد الريدوكس

جهد الريدوكس (مصحح لرقم هيدروجيني = ph) الإلكترود هيدروجين عادى (ميلى فولت)	المقاومة الكهربية (أوم.سم)	درجة العدوانية
أقل من ١٠٠	أقل من ٧٠٠	شديد العدوانية
١٠٠ – ٢٠٠	٧٠٠ – ٢٠٠٠	عدوانى
٢٠٠ – ٤٠٠	٢٠٠٠ – ٥٠٠٠	متوسط العدوانية
أكبر من ٤٣٠ (فى تربة طينية)	أكبر من ٥٠٠٠	ضعيف العدوانية أو غير عدوانى

ملحوظة: فى حالة عدم توفر هذه الاختبارات ، يتم تحليل عينات من الأرض و المياه الجوفية كيميائياً لتحديد أيونات الكلوريدات و الكبريتات للحكم على درجة العدوانية

و تقع مسئولية اختيار درجة الحماية على عاتق المصمم ، و يعتمد هذا الاختيار على عدة عوامل مثل درجة عدوانية البيئة المحيطة بالشداد و نتائج حدوث انهيار و تكلفة الحماية . و الجدول (١٠-٢٥) يعطى درجات الحماية المختلفة للشدادات التى يمكن أن يختار منها المصمم ما يلائم متطلبات مشروعه .

١٠/٨/٣/٥(ب) متطلبات عامة فى وسائل الحماية

(ب-١) يشترط فى وسائل الحماية ضد الصدأ أو التآكل أن تظل تؤدى وظيفتها بكفاءة طوال فترة العمر التشغيلى المحدد للشداد ، و يلزم ألا تتأثر هذه الحماية بالأعمال التى تتم قبل و أثناء التركيب مثل التخزين أو النقل أو التركيب أو الشد أو الحقن ... الخ.

(ب-٢) يشترط فى وسيلة الحماية للطول الحر من الشداد ألا يترتب عليها أى إعاقة للاستطالة ، و فى حالة وجود وصلات بهذا الجزء فيلزم أن تكون درجة الحماية للوصلات تساوى على الأقل

درجة الحماية لباقى الطول الحر و ألا تعوق وسيلة الحماية للوصلات هذا الطول الحر عن الاستطالة.

جدول (١٠-٢٥): درجات الحماية للشدادات الأرضية

نوع الشداد	درجة الحماية
مؤقت	بدون حماية
	حماية مفردة
	حماية مزدوجة
دائم	حماية مفردة
	حماية مزدوجة

(ب-٣) يتم حماية الطول الثابت من الشداد بنفس درجة الطول الحر ، كما يجب أن تكون عناصر الحماية قادرة على نقل الإجهادات العالية المتولدة بالوتر إلى الأرض ، و ذلك يستلزم توفر خصائص المقاومة العالية و القدرة على التشكل فى وسيلة الحماية .

(ب-٤) يشترط قبل وضع الحماية على الوتر أن تزال جميع المواد التى قد تكون على سطحه مثل الأتربة أو الشحم أو الصدأ .

(ب-٥) فى حالة الشدادات سابقة الشد يلزم أن يكون سطح الوتر خالياً من أى آثار للصدأ .

(ب-٦) يلزم حماية رأس الشداد أيضا ضد الصدأ ، و يجب أن تشمل وسيلة الحماية الوصلة بين رأس الشداد و الوتر ، كما يجب أن تسمح وسيلة الحماية بإعادة الشد أو الحقن للشداد إذا كان ذلك مطلوباً فى التصميم.

١٠/٨/٣/٥(ج) متطلبات الحماية ضد الصدأ للشدادات المؤقتة

(ج -١) يحاط الطول الثابت من الشداد بطبقة من المونة الأسمنتية لا يقل سمكها عن ٢٠ مم ، ويستخدم لهذا الغرض مباعدات spacers تثبت جيداً بالوتر على مسافات لا تزيد عن ١ متر .

(ج -٢) تستخدم للطول الحر من الشداد إحدى الوسيلتين التاليتين:

ج -٢-١ يوضع الوتر داخل غلاف من البلاستيك لا يقل سمكه عن ٢ مم مصنوع من PVC أو البولي إثيلين أو البولى بروبيلين ، و يجب أن يكون الغلاف جيد الالتصاق بالشداد ولن يمنع أى تسرب للمياه إليه خاصة عند منطقة اتصال الطول الحر برأس الشداد.

ج-٢-٢ يزاد القطر التصميمى للشداد بمقدار لا يقل عن ١ مم و يسمح بهذا النوع من الحماية فقط فى الشدادات التى لا يزيد فيها إجهاد الخضوع عن ٥٠٠٠ كجم/سم^{٢} ولا تقل مساحة مقطعها عن ٦٠٠ مم^{٢}.

(ج -٣) فى المنطقة الانتقالية بين الطول الحر والطول المثبت يجب عمل احتياطات إضافية فى حالة الشدادات ذات الأحمال العالية. ففى حالة الوتر الذى يتكون من وحدة واحدة والحمل التشغيلى يساوى أو يزيد عن ٦٠ طن أو الوتر الذى يتكون من عدة وحدات وحمله التشغيلى يساوى أو يزيد عن ٧٥ طن ، يلزم عمل احتياط إضافى (مثل استخدام غلاف متعرج corrugated sheath يحقن بالمونة) لمسافة لا تقل عن متر واحد من النهاية الداخلية للطول المثبت لمنع حدوث الشروخ الطولية التى تحدث نتيجة لانتقال الحمل عند هذا الجزء ، ولا يلزم الأخذ بهذا الاحتياط الإضافى إذا وقع الطول المثبت فى منطقة جافة .

١٠/٨/٣/٥(د) متطلبات الحماية ضد الصدأ للشدادات الدائمة

(د-١) يجب أن تتم وسائل الحماية فى هذه الحالة فى المصنع وليس فى الموقع ، وعلى المقاول أن يقدم ما يفيد استيفاء نظام الحماية المقترح للاشتراطات الآتية:

د-١-١ أن تكون وسائل الحماية لجميع عناصر الشداد متوافقة مع بعضها البعض .

د-١-٢ أن يضمن النظام المقترح درجة من الحماية لا تقل عن تلك التى توفرها الأنظمة المعروفة و الثابتة كفاءتها فى الحماية .

د-١-٣ ألا يترتب على تطبيق نظام الحماية المقترح أى آثار سلبية على خواص الوتر سواء أثناء التركيب أو تحت ظروف التشغيل.

د-١-٤ أن تمتد قدرة النظام على الحماية بكامل طول الشداد.

د-١-٥ ألا يؤثر نظام الحماية المقترح على قدرة الطول الحر للشداد على الاستطالة.

(د-٢) الأجزاء التى يتم تطبيق وسيلة الحماية لها بعد التركيب ، مثل رأس الشداد ، يجب أن تتم أعمال الحماية تحت إشراف جهات متخصصة.

١٠/٨/٤ مسامير الصخر

١٠/٨/٤/١ عام

تعتبر مسامير الصخر من العناصر الشائع استخدامها في معظم أنظمة تقوية الصخور، والغرض من مسمار الصخر هو أن يعمل كعنصر تقوية مشدود ذى تثبيت إيجابي positive anchorage مع الصخر . ويستلزم استخدام مسامير الصخر الاهتمام بالجوانب التالية في مرحلتى التصميم والتنفيذ و التي تعتبر ذات أهمية كبيرة في أعمال التقوية الدائمة:

١-تأمين تثبيت جيد بالصخر.

٢-شد المسامير لمستوى الحمل المطلوب حتى يمكن وضع الصخر حوله في حالة ضغط .

٣- حبس حمل الشد في المسمار .

٤- الحماية ضد فقدان التثبيت أو ضد التآكل واستغلال مقاومة المسمار للقص.

ويوجد عدد من أنواع المسامير التي توفر هذه الجوانب بطرق مختلفة من حيث أسلوب التثبيت أو نوع المواد اللاحمة, وبعض هذه الطرق أكثر شيوعاً من الأخرى, واستخدام واحدة من هذه الطرق أو الأخرى يعتمد على الخبرة الشخصية للمصمم بالإضافة إلى دراسات التكلفة ومدى توفر هذه الأنواع . و استخدام أي من هذه الأنواع في إطار من التخطيط والاختبار الجيد يمكن أن يقود إلى النتيجة المطلوبة.

وعلى الرغم من أن طرق التثبيت المشدودة أو غير المشدودة كلاهما يستخدم بشكل اعتيادي إلا أنه من المفضل إجراء عملية الشد في أسرع وقت ممكن بعد الانتهاء من التنفيذ، حيث أن عناصر التقوية سابقة الشد تقوى الكتلة الصخرية عن طريق زيادة مقاومتها لاجهادات القص على أسطح الانفصال مما يمنع انفصال الأجزاء السائبة ويحسن من درجة التداخل interlocking بين كتل الصخر المتجاورة.

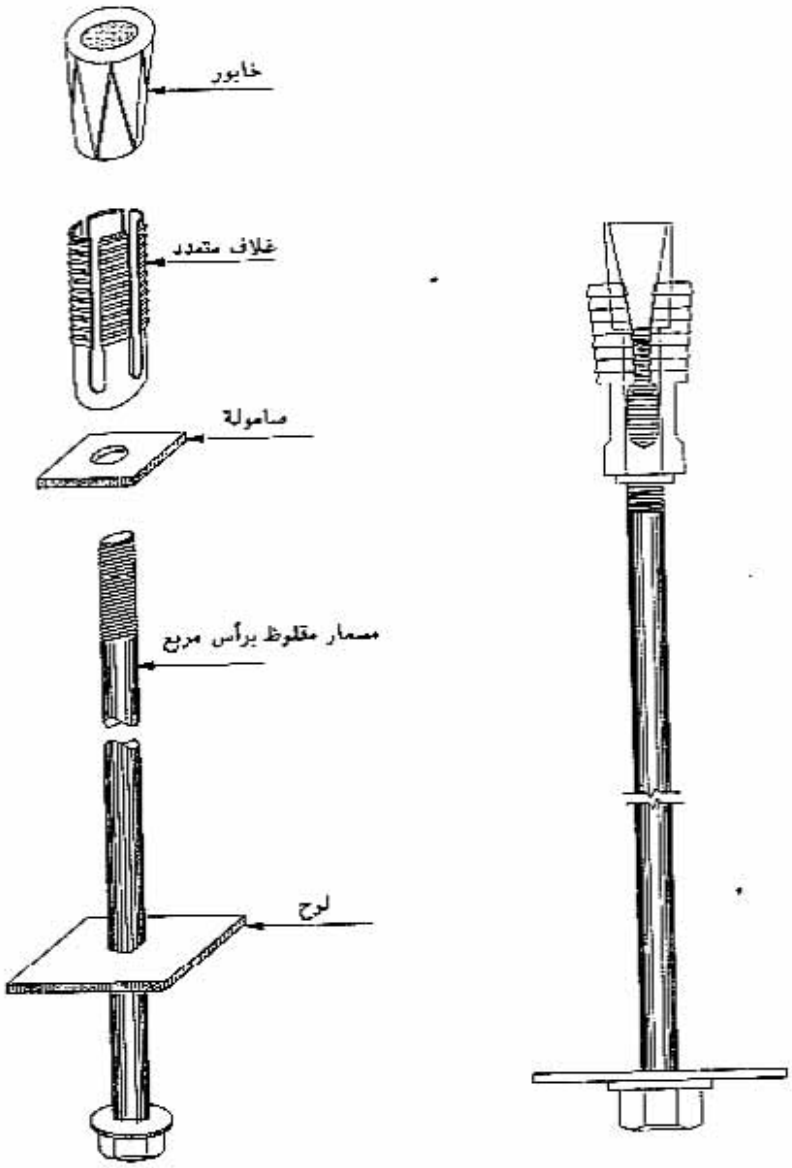
١٠/٨/٤/٢ طرق التثبيت

تعتبر عملية التثبيت من الأمور الضرورية للحصول على مسامير صخر ذات أداء جيد ، وهى مرحلة حساسة في الفترة بين الشد الابتدائي و الحقن لكامل الطول ، فإن حدوث أي زحف أو انفلات للمسمار خلال هذه الفترة سيقلل من قدرة المسمار على التقوية ، ومن المفضل أن تزيد مقاومة الجزء الثابت بالمسمار عن مقاومة الشد لجسم المسمار نفسه.

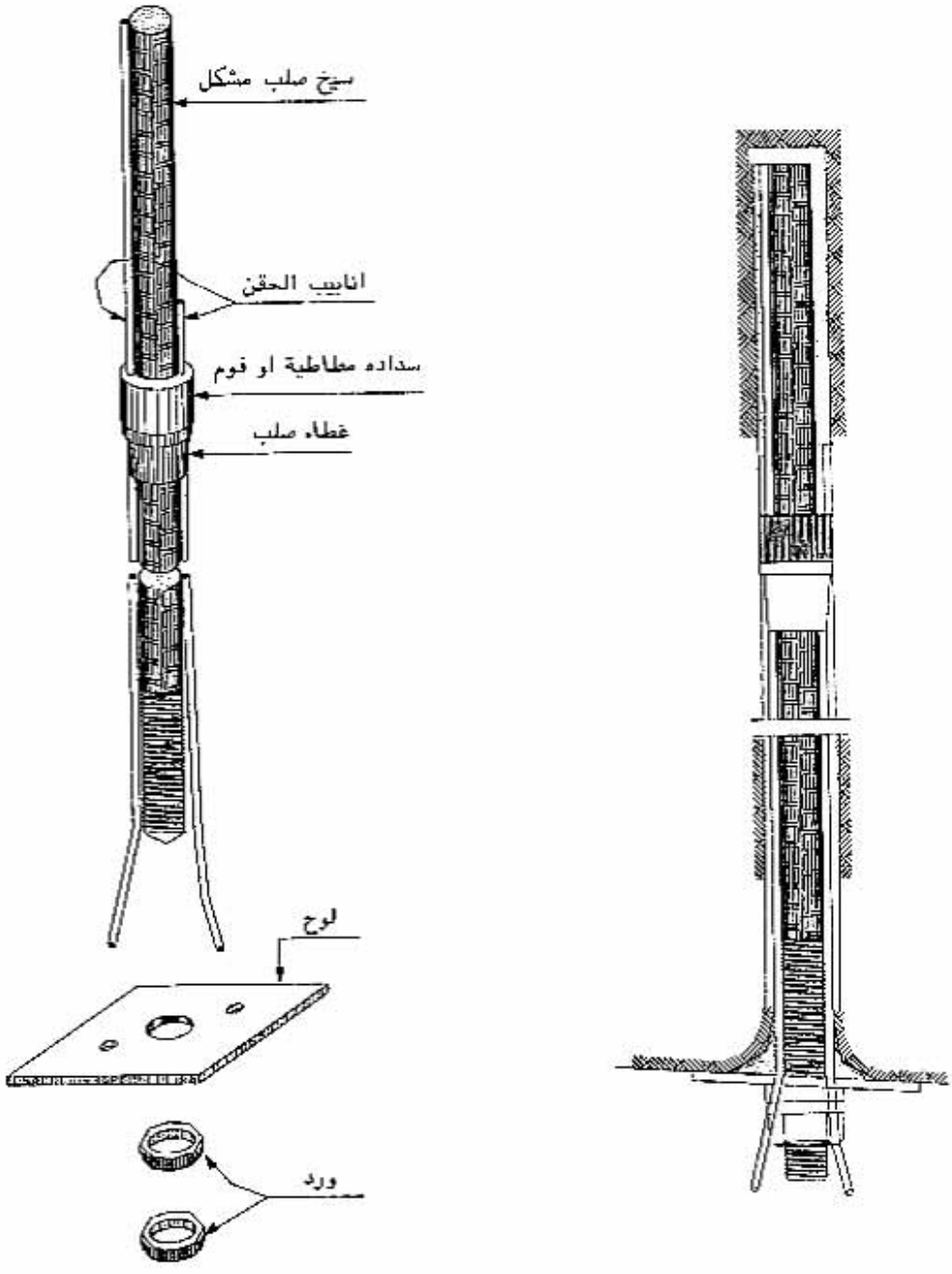
يتم التثبيت بإحدى طريقتين وهما التثبيت الميكانيكي mechanical anchorage والتثبيت بالحقن الطرفي grouted end anchorage. يعتمد التثبيت الميكانيكي على التمدد الجانبى

لغلاف معدني يضـــغط على جوانب الثقب الصخـــرى ويقاوم الشد بالاحتكاك المتولد بين هذا الغلاف والصخر المحـــيط به ، والأســـلوب الميكانيـــكي الأكثر اســـتخداماً هو التثبيت باستخدام الغلاف المتمدد expansion shell anchorage كما هو مبين بالشـــكل (١٠-٢٤أ) ويوجد منه أنواع كثيرة تختلف في تفاصيل الغلاف وطريقة التثبيت وبعضها يصلح في التثبيت بالصخور القوية فقط وبعضها الآخر في الصخور الضعيفة، ويجب على المصمم اتباع إرشادات جهة الصنع فيما يتعلق بطرق التنفيذ وظروف التشغيل المناسبة.

أما التثبيت بالحقن الطرفـــــي كما هو مبين بالشكل (١٠- ٢٤ب) فإن طول الجزء المستخدم في التثبيت يعتمد على حالة الصخر والمادة اللاحمة المستخدمة ويتم تحديد هذا الطول من خلال اختبارات شد. وتتميز هذه الطريقة في الحقن بأنها ملائمة للاستخدام مع أى نوع من الصخور وتحافظ على متانتها حتى فى الصخور شديدة التكسير. مع ملاحظة أن استخدام مواد مثل الأسمنت أو بعض المواد الكيميائية يتطلب فترة زمنية من أربع إلى ثمان ساعات قبل الوصول الى متانة كافية تسمح بإجراء عملية الشد . ولكن يوجد أنواع أخرى من المواد اللاحمة المصنوعة من البوليستر تستطيع أن تصل إلى درجة مقاومة كافية فى مدة تتراوح من ٥ إلى ٣٠ دقيقة. في حالة المسامير المنفذة رأسياً لأسفل down holes يمكن ببساطة ملء الجزء السفلي من الثقب بمادة اللحـــــام ثم دفع المسمـــــار في هذا الجزء. أما بالنسبة للمسامير المائلة لأعلى up holes فتستلزم استخدام أساليب خاصة للحقن مثل الأنابيب المثقبة وعبوات البوليستر الجاهزة والحقن تحت ضغط وغيرها، ويجب الاعتماد على إرشادات جهة الصنع فيما يتعلق بطرق التنفيذ وظروف التشغيل المناسبة.



شكل (١٠-١٢٤أ) التثبيت باستخدام الغلاف المتمدد



شكل (١٠-٢٤ب) التثبيت بالحقن الطرفى

١٠/٨/٤/٣ المسمار وملحقاته

تستخدم مسامير الصخر عادة قضبان من الصلب بقطر ٢٥ مم إلى ٣٥ مم للربط بين منطقة التثبيت ولوح التحميل، ويمكن استخدام قضبان ذات أسطح ملساء أو متعرجة بتفاصيل ومقاسات تتباين من جهة صنع إلى أخرى ويزود المسمار برأس أو بصامولة سداسية تستطيع أن تتحمل أقصى قوة يتعرض لها المسمار. يدخل ضمن ملحقات مسمار الصخر لوح التحميل bearing plate الذى يستخدم لتوزيع الحمل المركز المنقول من المسمار على مساحة أكبر من الصخر أو المنشأ. ويحدد مقاس وسمك اللوح طبقا لحمل الشد وقوة تحمل الصخر أسفل اللوح وعادة ما تستخدم ألواح أبعادها ١٥٠× ١٥٠ × ١٠ مم أو ٢٠٠ × ٢٠٠ × ١٠ مم للمسامير بقطر ٢٥ مم أو ٢٠٠ × ٢٠٠ × ١٢ مم للمسامير بقطر ٣٥ مم فى الصخور القوية وقد تستخدم ألواح بسمك أكبر لتقليل مقدار التشكل بها. يتم تثبيت اللوح على فرشة من المونة سريعة الشك لتوفير سطح تحميل منتظم و لضبط زاوية ميل اللوح فى الاتجاه العمودي على المسمار ، كما يزود المسمار بحلقات صلب washers خاصة لنقل الحمل من رأس المسمار أو الصامولة الى اللوح وكذلك لتحسين كفاءة عملية الشد ولتجنب تولد إجهادات ثانوية بالمسمار نتيجة لعدم استواء السطح الفاصل بين الصامولة ولوح التحميل. ولمنع التصاق المسمار بالفرشة الأسمنتية أسفل لوح التحميل ينصح بتغطية الجزء الأخير من المسمار بطول حوالى ١٥ سم بأى وسيلة مناسبة.

١٠/٨/٤/٤ استخدامات مسامير الصخر واعتبارات التصميم

١٠/٨/٤/٤(أ) استخدامات المسامير و أسس تصميمها

تستخدم مسامير الصخر بشكل شائع في تقوية الصخور لتنفيذ الأعمال تحت الأرضية مثل حفر الأنفاق والمناجم والمنشآت الأخرى تحت الأرضية أو فى أعمال القطع وتشكيل الميول أو تقوية الميول القائمة، ويوجد قواعد تجريبية لتحديد الأطوال و المسافات البينية لمسامير الصخر المستخدمة فى تقوية الفراغات تحت الأرضية مثل الأنفاق والمناجم وهى فى أغلبها قواعد استرشادية توجد فى المراجع المتعلقة بهذا النوع من الأعمال الهندسية .

أما بالنسبة للميول الصخرية فتطبق فيها أسس أتزان الميول الصخرية المعروفة وتحسب قيمة قوة الشد الإجمالية المطلوبة من مسامير الصخر بحيث تصل بمعامل الأمان للكتلة المعرضة للانزلاق إلى القيمة المطلوبة ، ثم تحسب المسافة بين المسامير بحيث توفر العدد اللازم من المسامير تبعا لقدرة التحمل المقررة لكل مسمار. أما بالنسبة لطول المسمار فيحدد بناء على المسافة بين سطح الصخر والفاصل المحتمل حدوث الانزلاق عليه، ويجب أن يخترق المسمار هذا الفاصل ويمتد

بعده لمسافة كافية للتثبيت فى الصخر السليم . ومن المفضل استخدام المسامير بأكثر من طول على نمط تبادلى staggered ، لتجنب تكوين مستوى انفصال فى الصخر عند منطقة التثبيت ويمكن حساب الجزء الثابت من المسمار فى حالة التثبيت بالحقن باستخدام المعادلة (١٠-٢٧) ويجب ألا يقل هذا الطول عن ٢ متر ، أما فى حالة المسامير المثبتة ميكانيكياً فيلزم الاستعانة بإرشادات جهة الصنع لتحديد قدرة تحمل الشد.

١٠/٨/٤/٤(ب) اعتبارات إضافية

على الرغم من أن دراسات استكشاف الموقع التفصيلية تتيح التعرف على الكثير من الخصائص والمتطلبات الهندسية الأساسية للتعامل مع الكتلة الصخرية إلا أنه عادة ما تظهر مواضع بالكتلة الصخرية التي قد تستلزم تقوية إضافية موضعية لذا ينصح بأن تتضمن مواصفات المشروعات بنوداً تسمح بالتعامل مع هذا الموقف تعاقدياً، كما يتعين على المهندس المصمم وضع معايير واضحة فى مستندات التصميم يتقرر على أساسها مدى الحاجة لأي تقويات إضافية من عدمها أثناء التنفيذ .

١٠/٨/٤/٥ اختبار مسامير الصخر

فى حالة استخدام مسامير الصخر كوسيلة تقوية ثانوية ، تجرى اختبارات على عينة ممثلة منها بنسبة تتراوح بين ١%-٥% من إجمالي عدد المسامير المنفذة .أما إذا كانت المسامير هى الوسيلة الأساسية أو الوحيدة المستخدمة في تقوية الصخر فيلزم إجراء اختبار القبول على نسبة أكبر تتراوح بين ٥٠%-١٠٠% من إجمالي عدد المسامير المنفذة، وتختبر المسامير بحمل اختبار يساوى ١٢٥ % من حمل التشغيل للمسامير المؤقتة ، ١٥٠ % من حمل التشغيل للمسامير الدائمة، ولا يسمح باستخدام مفتاح العزم torque wrench فى إجراء اختبار الشد بل يلزم استخدام وسيلة الشد المباشر direct pull ، ويعتبر المسمار مقبولا إذا كانت الاستطالة أقل من أو تساوى ٢٠ مم للمسمار المثبت ميكانيكيا و ٥٠ مم للمسمار المثبت بالحقن الطرفي .أما باقى المسامير غير المختبرة فيتم شدها حتى ١١٠%من حمل التشغيل ثم تربط الصامولة بدون قياس أى استطالة، بفرض عدم وجود أى مؤشرات واضحة تدل على انفلات المسمار أثناء الشد.

١٠/٨/٥ عناصر التقوية غير المشدودة (أوتاد الصخر)

١٠/٨/٥/١ مقدمة

على الرغم من أنه من الأفضل استخدام عناصر مشدودة ومحقونة بكامل الطول فى تقوية الصخر ففى بعض الحالات يكون الأنسب استخدام عناصر تقوية محقونة بكامل الطول ولكنها غير مشدودة ، عادة ما تسمى أوتاد الصخر rock dowels أو قضبان الصخر rock bars. ولا تتولد إجهادات الشد في هذه العناصر بعد إنشائها إلا عندما تبدأ كتلة الصخر فى الحركة أو التشكل لذا تعتبر هذه العناصر ذات تثبيت سلبي passive anchorage.

١٠/٨/٥/٢ استخدامات أوتاد الصخر

يكثر استخدام أوتاد الصخر في أعمال القطع في الصخر بالتفجير حيث يتم زرع القضيب المحقون داخل الكتلة الصخرية بعد خط التفجير ، وفى هذه الحالة تنفذ على شكل قضيب صلب محقون فقط وبدون رأس أو لوح تحميل . وقد تستخدم العناصر غير المشدودة التى تتكون من قضيب صلب ورأس ولوح تحميل ولكنه لا يتم شده ويستخدم هذا النوع فى الحالات التي يتعذر فيها إجراء عملية الشد مثل حالة الصخر الضعيف أو المفتت. كما يستخدم كتقوية إضافية في الحالات التي ليس بها مشكلة اتزان أصلا مثل ربط المنشآت بالصخور أو كعناصر تقوية رأسية لأسفل أو كتقوية إضافية مساعدة لعناصر تقوية قائمة مثل شدادات ومسامير الصخر و الخرسانة المرشوشة والشبك الصلب.

١٠/٨/٥/٣ أنواع أوتاد الصخر

يمكن استخدام جميع عناصر التقوية السابق ذكرها في هذا الجزء من الكود كأوتاد سواء باستخدام أجزاء الرأس ولوح التحميل أو بدونهما. وعند استخدام الرأس ولوح التوزيع يتم ربط الصامولة لإحكام ضغط لوح التحميل على سطح الصخر وكذلك لتثبيت الشبك السلك.

١٠/٨/٦ وسائل الحماية السطحية للميول الصخرية

١٠/٨/٦/١ مقدمة

تستخدم بعض الوسائل في الحماية السطحية للميول الصخرية منها نسيج السلك chain link fabric وشبكات الأسلاك الملحومة welded wire mesh والأربطة الصلب

steel strapping و الخرسانة المرشوشة shotcrete or sprayed concrete، وهى جميعاً طرق ذات فائدة مثبتة في حماية الأسطح الصخرية بالميول والأنفاق والفراغات تحت الأرضية الصخرية، والفائدة الأساسية من هذه الوسائل السطحية هي تحسين ثبات الكتل الصخرية البعيدة من السطح عن طريق المحافظة على الكتل السائبة القريبة من السطح فى مكانها ومنع هذه الكتل من السقوط ، واللجوء إلى واحدة أو أكثر من هذه الوسائل يعتمد على الخبرة والتكلفة.

١٠/٨/٦/٢ تسيج السلك وشبكات الأسلاك الملحومة

تعتبر هذه الوسيلة من الوسائل الأكثر شيوعا من حيث استخدامها في الحماية السطحية حيث يمكن تثبيتها مباشرة مع عناصر التقوية الأخرى مثل مسامير الصخر والشدادات. كما يمكن زيادة الفائدة منها عن طريق تثبيت إضافي لها في المساحات الواقعة بين عناصر التقوية الأساسية ويستخدم فى ذلك مسامير أو زوايا أو قضبان صلب قصيرة تثبت بمونة أسمنتية داخل ثقوب في سطح الصخر بطول يتناسب مع حالة السطح الصخري.

١٠/٨/٦/٣ الأربطة الصلب

وهى قطاعات من الصلب على شكل حرف U أو ز وايا قائمة تثبت بين عناصر التقوية الأساسية وهى توفر درجة تثبيت أعلى للكتل الصخرية من الشبك المعدني خاصة في مناطق التقاء الأسطح الصخرية على شكل أركان، واستخدام هذه الأربطة مع الشبك الصلب يعتبر وسيلة فعالة في إيقاف التفكك المتزايد progressive loosening للقطع المكونة للسطح الصخرى.

١٠/٨/٦/٤ الخرسانة المرشوشة

١٠/٨/٦/٤(أ) مقدمة

الخرسانة المرشوشة هي إحدى وسائل حماية أسطح الكتلة الصخرية مثل الميول الصخرية الطبيعية أو الصناعية والأسطح الداخلية للأنفاق حيث يتم بهذه الوسيلة تكوين غشاء خرساني مرن وقوى يسد الشقوق الصخرية ويساعد على ربط الكتل الصخرية السطحية، ويمكن استخدام شبكة من الأسلاك الصلب مع الخرسانة المرشوشة بالإضافة إلى مسامير الصخر حسب متطلبات التقوية.

فى حالة حماية أسطح الكتل الصخرية مثل الميول حديثة الإنشاء يفضل استخدام مسامير الصخر مع الخرسانة المرشوشة . أما في حالة أسطح الميول الطبيعية الصخرية المعرضة للعوامل الجوية لفترات زمنية طويلة فيمكن الاستغناء عن مسامير الصخر والاكتفاء بشبكة السلك الصلب.

١٠/٨/٦/٤(ب) مكونات وخصائص الخرسانة المرشوشة

تتكون الخرسانة المرشوشة من خرسانة مضغوطة تندفع من فوهة آلة الدفع بسرعة عالية جداً لتلتصق بالأسطح الصخرية ولها القدرة على الاستقرار على السطح الرأسي بدون تسييل أو انزلاق ، ويمكن أيضاً أن تستقر على الأسطح الأفقية العلوية.

تتكون الخرسانة المرشوشة من أسمنت وماء ورمل وزلط بمقاس اعتباري أكبر لا يزيد عن ١٢,٥ مم ، و فى معظم الأحوال تستخدم إضافات بغرض الإسراع من الشك والحصول على مقاومة مبكرة وخاصة فى حالة الأنفاق حيث يجب ألا تقل مقاومة الضغط بعد ٧ ساعات عن ٥٠ كجم/سم^2 كما تفيد الإضافات فى تسهيل الحصول على طبقة حماية بسمك كبير نسبيا يتم تكوينه على شكل طبقات رقيقة متتالية ودون أن تتساقط أو تنفصل عن السطح الصخرى حتى ولو تم الرش على أسطح علوية داخلية مثل أسقف الأنفاق.

١٠/٨/٦/٤(ج) طريقة التنفيذ

تنفذ الخرسانة المرشوشة بإحدى طريقتين : الخلطة الجافة والخلطة الرطبة.

(ج-١) طريقة الخلطة الجافة: وفيها يتم دفع المواد الجافة أولا ثم تضاف المياه قبل خروج الخرسانة من الفوهة مباشرة.

(ج-٢) طريقة الخلطة الرطبة : وفيها تتم عملية إضافة المياه للمكونات الجافة أولاً ثم تدفع من فوهة آلة الدفع.

وحيث أن الإضافات تخلط بالمياه فإن معجلات الشك لا يفضل استخدامها فى حالة الخلطة الرطبة حتى لا تسك الخرسانة قبل خروجها من فوهة آلة الدفع . ولذلك فإن الخلطة الجافة تعتبر أكثر ملاءمة فى حالة جدران الأنفاق وأسقف الفراغات تحت الأرضية ، بينما الخلطة الرطبة أكثر ملاءمة للميول الصخرية الصناعية أو الطبيعية غير الرأسية.

تنفذ الخرسانة المرشوشة عادة على طبقات بسمك ٥ سم وفى حالة الاحتياج إلى أكثر من طبقة تنفذ الطبقة التالية بعد ٨ ساعات من تنفيذ الطبقة السابقة و يتم تكرار ذلك حتى الوصول إلى

السمك الإجمالى المطلوب ، ويراعى ألا يزيد السمك غير المسلح للخرسانة المرشوشة عن (١٠٠مم).

١٠/٨/٦/٤(د) ضبط الجودة

تعتبر الخرسانة المرشوشة عملية متخصصة تختلف كثيراً عن أعمال إنشاء الخرسانة التقليدية حيث تتأثر بدرجة كبيرة بعوامل عديدة مثل حالة السطح الصخري ومعدات الرش وكفاءة فريق العمل ونوع الإضافات المستخدم .ويجب على المهندس المصمم الإلمام بمتطلبات ضبط الجودة المتعلقة بالمواد المستخدمة وطرق الفحص. ويجب على المقاول الذى يتصدى لهذا العمل أن يثبت فى المراحل الأولى من العمل كفاءة الفريق المنفذ لأعمال الخرسانة المرشوشة وسلامة المواد والخلطة والطريقة التى ينوى استخدامها. ويجب إجراء اختبارات دورية أثناء العمل يتم خلالها أخذ عينات لبية من الطبقات المنفذة بالخرسانة المرشوشة . ويمكن بالإضافة إلى ما سبق ، أو بديلاً عنه أن يتم الاختبار على ألواح اختبار test panels يتم تنفيذها دورياً أثناء تنفيذ الأعمال الأصلية مع أخذ عينات لبية بشكل غير دورى.

١٠/٩ الصخور ذات المشاكل واحتياطات التأسيس عليها

١٠/٩/١ مقدمة

يقدم هذا الباب إرشادات عامة للتعرف على بعض الظروف الخاصة التي يمكن مواجهتها عند التأسيس على الصخور وكيفية معالجتها لتجنب حدوث مشكلات أثناء أو بعد الإنشاء . ورغم أن هذه الظروف الخاصة توجد فى الغالب فى مناطق معينة وفى أنواع محددة من الصخر إلا أنه يجب على المهندس أن يعى المشكلات المحتملة وطرق معالجتها .

ويعرض هذا الباب الاعتبارات الخاصة لحالات ثلاث هى التكوينات التكهفية karstic formations والصخور ذات القابلية للانتفاش والطبقات الانتقالية التى تفصل بين الصخر والتربة السطحية .

١٠/٩/٢ التأسيس على صخور تكهفية

من الموضوعات ذات الأهمية عند التأسيس فى منطقة صخرية هو احتمالات وجود فجوات غير مكتشفة أسفل مايبدو أنه سطح طبقة صخرية مصمتة أو احتمالات تكون فجوات بعد الإنشاء . هذه الظواهر تحدث طبيعياً فى التكوينات التكهفية ، كما أنها يمكن أن تحدث بسبب النشاط البشرى ذاته (مثل حفر المناجم وغيرها) . لذا فإن المصطلح "فجوات" يغطى هنا كل أنواع ومقاسات الفجوات التى قد توجد بالكتلة الصخرية [١].

١٠/٩/٢/١ خطورة الفجوات

يتسبب وجود الفجوات فى ظهور عدد من الصعوبات عند التأسيس عليها مثل :

- عدم انتظام سطح الصخر نتيجة للانهيار collapse أو الهبوط subsidence وما يصاحب ذلك من صعوبة التنبؤ بمستوى الارتكاز الملائم .
- صعوبات فى الحفر مع ضرورة استخدام عمالة يدوية مكثفة لأعمال التنظيف والحفر والترميم.
- عدم التيقن من قدرة التحمل فى ضوء احتمالات الانهيار أو الهبوط فوق الفجوات أو تضاغط أكوام فتات الصخر debris piles الناشئين عن الانهيارات السابقة . وكل هذه الظواهر قد تختفى تحت ما يبدو أنه سطح صلب لطبقة صخرية .

– مشكلات من سريان المياه الجوفية حيث يلزم إتباع أثر سريان المياه ودراسته لمنعه أو تحويله بعيدا عن منطقة المشروع . كما أن نمط سريان المياه السطحية قد يتأثر بما يحدث للفجوات داخل الصخر وأحيانا يتحول المسار بالكامل ويتجه إلى داخل الأرض .

– إمكانية دخول الملوثات بسرعة إلى القنوات المفتوحة أثناء أعمال الحفر بدون قدر مناسب من الترشيح الطبيعى أو التنقية مما قد يلوث مصادر المياه المحلية بمنطقة المشروع .

٣/٢/٩/١٠ طرق استكشاف الفجوات

يعتبر استكشاف الفجوات من المهام الصعبة وقد لا تظهر إلا أثناء عمليات الحفر المصاحبة للإنشاء . وفى المناطق التى يحتمل وجود فجوات بها ، يجب أن يتم الاستكشاف من خلال دراسة تفصيلية قبل وأثناء الإنشاء .

من المعروف أن التكوينات التكهفية تتواجد فى مناطق متوقعة نسبيا حيث يوجد الحجر الجيرى والدولومايت . إلا أن تحديد موضع الفجوات على مستوى الموقع أكثر صعوبة ويمكن بسهولة أن تخطئ برامج الاستكشاف النمطية فى الكشف عن فجوات خطيرة . ونفس الصعوبة توجد فى الكشف عن فجوات فى التكوينات شبه التكهفية pseudokarst terrains وصخور الملح والجبس وفى مناطق المناجم .

تعتبر الوسائل الجيوفيزيائية على جانب من الفائدة فى مراحل الاستكشاف الأولية لتحديد الفجوات الكبيرة نسبيا ولكنها قد تغفل الفجوات الأصغر . كما تفيد وسائل أخرى مثل الاستشعار عن بعد والصور الجوية والصور بالأشعة تحت الحمراء infrared imagery و الرادار الجانبى side -looking radar فى تحديد اتجاهات الفحوات والفواصل فى منطقة ما بالإضافة إلى تحديد ملامح التراكيب الجيولوجية المصاحبة لمناطق ظهور الصخور الملحية . أما أعمال المسح لميول وامتداد الفواصل Joint strike and dip mapping والتى تتم بعد إزالة الطبقة السطحية التى تغطى الصخر ، فيمكن أن تكون ذات فائدة كبيرة فى توقع اتجاهات الفجوات التى تتبع اتجاهات الفواصل . فى بعض الحالات تفيد الوسائل الهيدرلوجية مثل البيزومترات وتتبع آثار تسرب الصبغة dye flow tracers واختبارات الضخ فى تحديد النفاذية ومسارات المياه المحتملة على امتداد الفجوات كما تستخدم كاميرات الجسات فى تحديد حجم وحالة الفجوات أو الحفر الناشئة عن أعمال المناجم فى حالة تعذر الوصول إليها .

ونظراً لصعوبة الكشف عن الفجوات على مستوى الموقع ، فإن الحل العملي الوحيد ، بعد أعمال الدراسة الأولية ، هو عمل جسة فى موقع كل قاعدة ورغم أن هذا الحل عالى التكلفة نسبياً إلا أنه يبدو الوسيلة الوحيدة المعقولة فى مثل هذه الحالات المثيرة للقلق .

٣/٢/٩/١٠ طرق التعامل مع الفجوات

يوجد عدد من الوسائل المتاحة للتعامل مع مشاكل التصميم والتنفيذ للمشروعات المنشأة فى مناطق بها فجوات ، وفيما يلى عرض ملخص لهذه الوسائل المختلفة :

١- عدم استخدام المنطقة فى الإنشاء إن أمكن .

٢- تخطى الفجوة bridge the cavity عند التحميل .

٣- تصميم المنشأ والأساسات بحيث يتحمل مقداراً كبيراً من الهبوط والهبوط النسبى .

٤- ملء الفجوات لتقليل الهبوط أو منع الانهيار أو الاتساع المستمر للفجوة ، وتملأ الفجوات بالرمل أو الزلط أو الخرسانة أو بالحقن . ويمكن استخدام المونة الأسمنتية لملأ الفراغات الكبيرة لمنع سقف الفجوة من الانهيار وبالتالى وقف امتداد حفرة الهبوط progression of sinkhole . كما تستخدم المونة أيضا فى حقن الفجوات التى يصعب الوصول اليها وبالتالى يمكن تقليل النفاذية وتقوية الكتلة الصخرية .

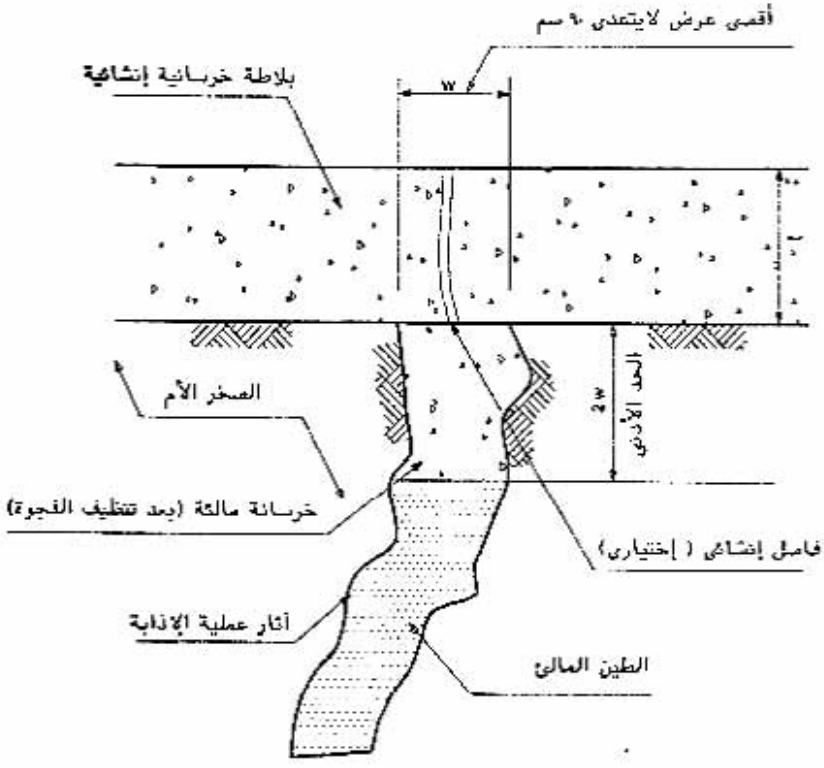
٥- تجنب تأسيس المنشآت على طبقات جبس أو ملح أو انهايدرايت بسبب سرعة تآكله تحت تأثير سريان أو تسرب المياه العذبة .

٦ - العمل على علاج الفواصل أو الفجوات بالجزء السطحى من الصخر يدويا كما هو مبين بالشكل (١٠-25) مع مراعاة أنه يصعب تحديد حجم هذا النوع من الأعمال قبل الحفر .

٧- التحكم الحذر في سريان المياه السطحية أو الأرضية إذ أن تخفيض منسوب المياه يمكن أن يتسبب فى انهيارات وتكوين حفر هبوط فى مناطق غير متوقعة . ويلاحظ أن الصرف السطحى surface drainage فى معظم مناطق التكهفات يكون غير مكتمل التكون حيث تذهب معظم المياه إلى داخل الأرض .

٣/٩/١٠ انتفاش الصخور

يعتبر انتفاش الصخور من الحالات الخاصة أيضا والتى تظهر بعد كشف الصخور أو بعد رفع الحمل عنها حيث يتمدد الصخر أفقيا أو رأسيا أوكلاهما .



ملحوظة : يمكن التغاضى عن معالجة الفجوات التى يقل عرضها عن ٧ سم مع مراعاة التنظيف العادى لأعمال الأساسات

شكل (١٠-٢٥) علاج الفجوات بالجزء السطحى للصخر

توجد عدة عوامل مختلفة يمكن أن تتسبب فى حدوث انتفاش للصخر ويمكن أن يحدث الانتفاش نتيجة لواحد أو أكثر من هذه العوامل التى تشمل الارتداد و التفاعلات الكيميائية .

١٠/٩/٣/١ انتفاش الصخور نتيجة للارتداد

الارتداد المرن – اللدن elasto - plastic rebound هو تمدد الكتلة الصخرية نتيجة لتناقص أو رفع أحمال خارجية مؤثرة عليها وفى بعض الحالات ، خاصة تلك التى تتميز بوجود اجهادات أفقية عالية high horizontal stress field فإن إزالة كمية بسيطة من الصخور أو التربة قد لا يزيد سمكها عن عدة أقدام يتسبب فى حدوث تمدد يحدث فى صورة ارتفاع شامل general heave لسطح الصخر المكشوف أو فى صورة قباب pop-up أو انبعاج buckling .

١٠/٩/٣/٢ انتفاش الصخور نتيجة لتعرضها للمياه

يحدث هذا النوع من الانتفاش بآلية النمو الأيونى cation hydration لبعض الصخور الطينية وترتبط هذه العملية بانجذاب attraction والتصاق adsorption جزئيات المياه بمعادن الطين ومن العوامل التى تساهم فى هذا النوع من الانتفاش التلاحم الضعيف ، الجفاف ثم إعادة البلل ، رفع الحمل unloading ، وارتفاع نسبة معادن الطين خاصة المونتموريلونايت .

وتعتبر صخور الطين الصفحى clay shale أكثر أنواع الصخور تأثرا بمشكلات الانتفاش نتيجة للنمو الأيونى ، ويمكن التعرف على هذا النوع من الصخر بأنه يتفكك slake بسهولة مع تعاقب البلل والجفاف ، وهو صخر تأثر بأحمال سابقة عالية و يترسب عادة فى البيئات البحرية الضحلة على سبيل المثال واحة الخارجة ، أودلتات أو البحيرات فى أعمار جيولوجية مختلفة مثل عصور الكريتاس Cretaceous أو الباليوسين Paleocene والأيوسين المتأخر Late Eocene ويحتوى على نسبة عالية من معدن المونتموريلونايت .

١٠/٩/٣/٢ (أ) عوامل أخرى مسببة للانتفاش بالنمو الأيونى

بالإضافة إلى نوع معدن الطين ونسبته فى الصخور ، توجد عوامل أخرى تؤدى إلى الانتفاش بالنمو الأيونى مثل الكثافة ، المحتوى المائى ، التركيب المعدنى للصخر ، تاريخ التحميل loading hisotry والتجوية .

١- تمثل كثافة الصخر مؤشراً هاماً للانتفاش حيث أن زيادة قدرها ٢٥% فقط فى الكثافة الجافة للطين الصفحى يمكن أن تزيد من ضغط الانتفاش لأكثر من الضعف . لـذا فـإن ارتفـاع الكثافة يمكن أن يدل على زيادة احتمال الانتفاش .

٢- قلة المحتوى المائى يمكن أن تشير الى زيادة احتمال الانتفاش حيث يدل ذلك علـى وجـود طاقة عالية للاحتفاظ بالمياه داخل التركيب الطينى .

٣- التركيب المعدنى للطين الصفحى يمكن أن يؤثر على مقدار واتجاه الخصـائص انتفاشـية فالتركيب المعدنى المضغوط compacted mineral orientation الـذى تتميـز بـه صـخور الطين الصفحى يكون فيه أوجه المعادن المفلطحة plate mineral faces علـى شكل متراكب فوق بعض stacked arrangement حيث يكون احتمال الانتفـاش أكبـر مايمكن عموديا على أوجه المعدن .

٤- تاريخ التحميل يمكن أن يدل على درجة سبق التحميل preconsolidation التى تعرضـت لها صخور الطين الصفحى فى الماضى ، ويمكن أن تحدث تغيرات فى البيئـة التحميليـة stress environment نتيجة لعوامل التآكل erosion ونحر الأنهار بالإضافة الى أنشطة التشييد .

٥- التجوية للطين الصفحى تقلل بصفة عامة من طاقة الانتفاش الكامنة إلا إذا تكونـت معـادن انتفاشية إضافية بسبب التجوية .

٢/٣/٩/١٠ (ب) مشكلات الحفر

يمثل الحفر فى الطين الصفحى مشكلة خاصة حيث أنه إذا سمح للسطح السكشـوف بالجفـاف يتكون داخل الصخر شـقوق انكمـاش shrinkage cracks كمـا أن الانتفـاش الارتـدادي rebound-type swell بتسبب فى نقص الرطوبة النسبية والكثافة ووصول مياه أو رطوبة من الخرسانة إلى هذا السطح يمكن أن يتسبب فى انتفاخ الطين الصفحى.

إتزان الميول يعتبر أيضاً مشكلة معروفة فى الطين الصفحى حيث أن الحفر يمكن أن يتسبب فى حدوث حركة على امتداد أسطح انزلاق قديمة ، كما أن فواصل البنتونايت التى تكثر فى الطين الصفحى إذا اتخذت اتجاهات غير ملائمة لاستقرار الميل يمكن أن يمثل ذلك مشكلة عدم اتـزان خطيرة .

٢/٣/٩/١٠ (ج) احتياطات الاستكشاف الحقلي

يوجد بعض الإجراءات الوقائية من مشكلات الانتفاش الناشئ عن البلل بالمياه منها التحكم في مراحل الحفر ومحتوى الرطوبة وحماية السطح وطرق أخرى بالإضافة إلى حسن اختيار مواضع عمل الميول (القطوع) أو موضع المنشآت بما يتناسب مع التتابع الطبقي .

يجب أن يبذل خلال أعمال استكشاف الموقع جهداً خاصاً للتعرف المبكر على ترسيبات الصخور الطينية التي يمكن أن تتسبب في بعض المشاكل الهندسية. وبصفة عامة توجد بعض العلامات السطحية وهذه الترسيبات مثل التنوءات والروابي على امتداد الميول بوديان الأنهار وسُل الانزلاقات التي تظهر على أسطح قطوع الطرق road cuts ووجود ميل أو شروخ في البلاطات الخرسانية أو المنشآت كما أن وجود أسطح انزلاق مسبق slickensides في صخور الطين الصفحي من علامات القابلية للانتفاش .

٢/٣/٩/١٠ (د) الاختبارات المعملية للتعرف على الصخور القابلة للانتفاش

الاختبارات المعملية اللازمة للتعرف على الصخور القابلة للانتفاش تشبه تلك المستخدمة في ميكانيكا التربة ، وتشمل تحليل معدن الطين واختبارات حدود أتربرج والمحتوى المائي والتضاغط واختبار الانتفاش . وتعتبر درجة القابلية للانتفاش لمعادن الطين مرتبة تنازلياً كالتالي: مونتموريلونايت ، إلايت ، اتابيولوجايت ثم الكاولينايت . ويمكن استخدام حدود أتربرج في التعرف على الطبيعة الانتفاشية للطين الصفحي حيث تشير حدود اللدونة العالية إلى قابلية انتفاش عالية كما هو مبين بالجدول (١٠-٢٦):

جدول (١٠ – ٢٦) إجهاد الانتفاش للصخور بدلالة حدود أتربرج والانتفاش الحر

الخاصية/الدليل	إجهاد الانتفاش		
	مرتفع	متوسط	منخفض
حد السيولة %	٥٥ – ٩٠	٤٠ – ٥٥	٣٠ – ٤٠
حد اللدونة %	٣٠ – ٦٠	٢٠ – ٣٠	١٥ – ٢٠
حد الانكماش %	١٤ – ٨	٢٥ – ١٤	٣٥ – ٢٥
الانتفاش الحر %	٧٠ – ١٨٠	٤٠ – ٧٠	٢٠ – ٤٠

ومن الضرورى أن تتماثل طريقة تعيين حدود اتربرج للعينات المختلفة حيث يمكن أن تتأثر النتائج بمقدار التجفيف بالهواء air drying أوالخلط blending أو الغمر فى الماء للعينات الأصلية ، وتعين طبقاً للكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات (كود رقم ٢/٢٠٢) ، الجزء الثانى: الاختبارات المعملية (٢٠٠١) .

٣/٣/٩/١٠ انتفاش الصخور نتيجة للتفاعلات الكيميائية

غالباً ما يحدث الانتفاش نتيجة للتفاعل الكيميائى فى صخور الطين الصفحى الأسود الباليوزويك Paleozoic حيث يحدث الانتفاش نتيجة لتفاعلات مثل الإماهة أو الأكسدة أوالكربنة carbonation لمكونات معدنية محددة ينتج عنها زيادة كبيرة فى الحجم للمواد الناتجة من التفاعل بالنسبة للحجم الأصلى للمعدن الأصلى . وقد يحدث لهذه التفاعلات أن تتسبب فى حدوث تشكلات انتفاشية وضغوط عالية بعد الحفر والإنشاء . ويمكن ألا تتوفر الظروف اللازمة لحدوث هذا التفاعل إلا بعد الانتهاء من الإنشاء ، كما أنه قد يكون من الصعب توفير نفس هذه الظروف فى المعمل للتعرف على قابلية حدوث هذه الآلية من آليات الانتفاش حيث تتحكم درجة الحرارة والضغوط ودرجة الرطوبة وفى بعض الأحيان التأثير البكتيرى فى حدوث مثل هذه التفاعلات.

٣/٣/٩/١٠(أ) التفاعلات

يعتبر تحول الانهايدرايت إلى جبس من التفاعلات الكيميائية المألوفة التي تؤدي إلى حدوث انتفاش ، ويحدث تفاعل مماثل فى حالة الطين الصفحى الذى يحتوى على كميات كبيرة من البايرايت الحر free Pyrite حيث تتسبب أكسدة البايرايت فى نمو بلورات الجبس أو الجاروسايت Jarosite . كما أن وجود بكتريا الكبريت يمكن أن يساعد على حدوث هذا التفاعل بل وقد يكون ضرورياً لإتمام التفاعل فى بعض الحالات . كما أن حمض الكبريتيك الذى ينتج عن التفاعل يمكن أن يتفاعل مع أى معدن مثل الكالسايت calcite فى طبقة الطين الصفحى مما ينتج عنه زيادة فى تكوين بلورات الجبس والذى يكون مصحوبا بانتفاش يمكن أن يرفع المنشآت.

١٠/٩/٣/٣(ب) طرق العلاج

نظرا لصعوبة توقع حدوث هذه التفاعلات أو محاكاتها خلال مرحلة استكشاف الموقع أو التصميم فربما يكون من الأفضل تجنب تأسيس المنشآت على طبقات طين صفحى كربونية تحتوى على بايرايت ، حيث أن هذه الصخور هى الأكثر قابلية لحدوث التفاعلات الكيميائية التى ينتج عنها انتفاش للصخور .

وإذا لم يمكن تجنب هذه المواقع من الاختبارات المتاحة فيجب العمل على حماية الأسطح التى يتم كشفها من تغير الرطوبة وذلك بوضع أغشية أو طبقة أسفلت أو أى وسيلة أخرى مناسبة ، علما بأن استخدام الخرسانة المرشوشة shotcrete لايعد من أنواع الحماية المناسبة حيث يمكن أن يؤدي حمض الكبريتيك الناشئ عن التفاعل إلى تدميرها كما أن زيادة مصدر الكالسيوم (عند استخدام الخرسانة المرشوشة) يمكن أن يؤدى إلى زيادة تفاعلات الانتفاش.

من الوسائل الوقائية الأخرى استخدام إضافات كيميائية تمنع نمو بلورات الجبس مثل حمض الميثلين الفوسفورى methylene phosphoric acid الذى أوضحت الاختبارات أنه يحد بدرجة كبيرة من تكون الجبس .

١٠/٩/٤ طبقات التماس بين التربة والصخر

تتسبب الصخور التى تعرضت لظروف تجوية شديدة ، فى مشاكل كبيرة عند الحفر فيها والتأسيس عليها . ففى بعض الأحوال ، تؤدى عوامل التجوية إلى تحويل الصخر إلى تربة متبقية residual soil فى الطبقات السطحية وتتدرج هذه التربة عبر طبقات انتقالية من التربة الشبيهة بالصخر rock-like soil ، وتسمى طبقةالسابرولايت saprolite ، إلى الصخر الشبيه بالتربة soil-like-rock ، ويسمى الصخر المجوى weathered rock ، حتى تصل إلى صخر القاع السليم . ويتطلب التأسيس على هذه الطبقات الانتقالية والتربة المتبقية عناية خاصة نظراً لتباين خواصها بين خواص التربة وخصائص الصخور مما يؤثر فى أعمال الحفر والتأسيس.

١٠/٩/٣/٣(ب) طرق العلاج

نظرا لصعوبة توقع حدوث هذه التفاعلات أو محاكاتها خلال مرحلة استكشاف الموقع أو التصميم فربما يكون من الأفضل تجنب تأسيس المنشآت على طبقات طين صفحى كربونية تحتوى على بايرايت ، حيث أن هذه الصخور هى الأكثر قابلية لحدوث التفاعلات الكيميائية التى ينتج عنها انتفاش للصخور .

وإذا لم يمكن تجنب هذه المواقع من الاختبارات المتاحة فيجب العمل على حماية الأسطح التى يتم كشفها من تغير الرطوبة وذلك بوضع أغشية أو طبقة أسفلت أو أى وسيلة أخرى مناسبة ، علما بأن استخدام الخرسانة المرشوشة shotcrete لايعد من أنواع الحماية المناسبة حيث يمكن أن يؤدي حمض الكبريتيك الناشئ عن التفاعل إلى تدميرها كما أن زيادة مصدر الكالسيوم (عند استخدام الخرسانة المرشوشة) يمكن أن يؤدى إلى زيادة تفاعلات الانتفاش.

من الوسائل الوقائية الأخرى استخدام إضافات كيميائية تمنع نمو بلورات الجبس مثل حمض الميثلين الفوسفورى methylene phosphoric acid الذى أوضحت الاختبارات أنه يحد بدرجة كبيرة من تكون الجبس .

١٠/٩/٤ طبقات التماس بين التربة والصخر

تتسبب الصخور التى تعرضت لظروف تجوية شديدة ، فى مشاكل كبيرة عند الحفر فيها والتأسيس عليها . ففى بعض الأحوال ، تؤدى عوامل التجوية إلى تحويل الصخر إلى تربة متبقية residual soil فى الطبقات السطحية وتتدرج هذه التربة عبر طبقات انتقالية من التربة الشبيهة بالصخر rock-like soil ، وتسمى طبقةالسابرولايت saprolite ، إلى الصخر الشبيه بالتربة soil-like-rock ، ويسمى الصخر المجوى weathered rock ، حتى تصل إلى صخر القاع السليم . ويتطلب التأسيس على هذه الطبقات الانتقالية والتربة المتبقية عناية خاصة نظراً لتباين خواصها بين خواص التربة وخصائص الصخور مما يؤثر فى أعمال الحفر والتأسيس.

١٠/٩/٤/١ نمط التجوية مع العمق

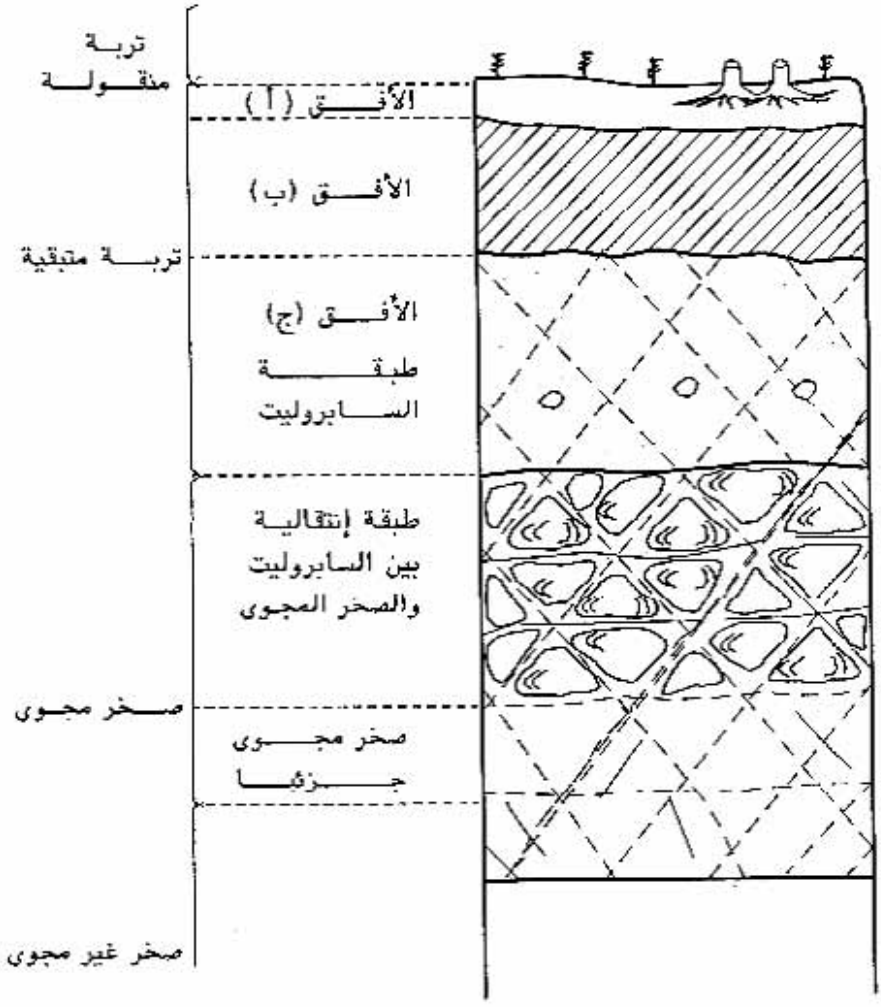
تعتبر التجوية الكيميائية chemical weathering هى العامل الرئيسى فى تكوين طبقات التمـاس الانتقالية مابين التربة والصخر وبصفة خاصة فى الأجواء الدافئة والرطبـة ، كمـا أن للتجويـة الفيزيائية كذلك دوراً في تكوين تربة فوق الصخر الأصلي.

وتؤدى التجوية الكيميائية أولاً إلى تحلل المواد الأكثر قابلية للذوبان وحدوث تغير في المعـادن الأقل ثباتاً ، وقد يلى ذلك ظهور أسطح عدم الاتصال فى الكتلة الصخرية .

ويعتمد التصميم الهندسى وأعمال الحفر فى الصـخور على معرفة أشكال التجوية التى قد تحدث فى أنواع معينة من الصـخور .

١٠/٩/٤/١(أ) نمط التجوية مع العمق في الصخور النارية الكتلية

تتميز بعض أنواع الصخور النارية مثل الجرانيت بنسيجها المتجانس . ونظراً لأن هذه الصخور تكاد تنعدم فيها مستويات التطبق أو التورقات أو تركيزات من معادن ذات قابلية عالية للتجويـة فإن الفواصل والفوالق وقطاعات القص هي التي تتحكم في تطور عملية التجويـة . كمـا أن البلاطات الناشئة من الفواصل الموازية تقريبا لسطح الأرض والتي تنشأ مـن زوال الإجهـاد stress - relief slabbing توفر مسارات للتجوية الكيميائيـة كمـا هـو موضـح بالشـكل (١٠-٢٦) . فطبقة السابرولايت (الأفق ج بالشكل) في هذا النوع من التتابعات تحتفظ بـنفس نسيج الانهيار الصخر الأصلي ، إلا أن مكان الفواصل المتبقية بها تعمل كمسـتويات محتملـة للانزلاق وكمسارات مفضلة للمياه الجوفية . أما الطبقة الانتقالية (بين السابرولايت والصـخر المجوي) فهي أيضا تحتوي علي مستويات انزلاق محتملة ومسـارات للميـاه الجوفيـة إلا أن الحجارة اللبية (corestones) بهذه الطبقة تشكل مدعاة أخري للاهتمام ، وهذه الحجارة اللبيـة هي المراكز الكروية الصلبة للكتل الصخرية التي يمكن أن تتفاوت في الحجم والصلابة تفاوتـاً كبيراً . وهذه المنطقة الانتقالية قد تحتاج لوسائل حفر متباينة من معدات حفر التربة إلي استخدام التفجير أو التكسير اليدوي ، كما أن الشكل الكروي للحجارة اللبية إذا كانت كبيرة الحجم يمكـن أن يتسبب في صعوبات في الحفر و النقل.



شكل (١٠- ٢٦) شكل نمطى لتجوية الصخور النارية مع العمق

١٠/٩/٤/١(ب) نمط التجوية مع العمق في الصخور النارية المنبثقة

علي الرغم من أن الصخور النارية المنبثقة extrusive ينشأ عنها تتابع تجوية شبيه بما ينشأ عن الصخور النارية الكتلية massive . إلا أن بعض الخصائص التكوينية لصخور مثل البازلت والطف tuff تؤدي إلى ظهور تكوينات شديدة التباين في بعض المناطق . فعلي سبيل المثال فإن البازلت الناشئ عن تدفق الحمم في صورة عروق يمكن أن يتسبب في زيادة مسارات التجوية weathering paths في بعض المناطق . لذا فإن طبيعة الترسيبات الناشئة من هذا التدفق الحممي تجعل من الصعب التنبؤ بحالة الصخر أثناء الحفر . إذ من الممكن أن يوجد في نفس التكوين طبقات متبادلة من التربة ، ومساقط الرماد ash falls والطف وهي مواد ذات نفاذية أعلي من البازلت المتاخم لها . وهذه المناطق معقدة التركيب وتتميز بنفاذية مرتفعة يمكن أن تزيد من درجة التجوية للصخر المحيط ويمكن أيضا أن يوجد بها مياه جوفية مخزونة تحت ضغط عال . كما أن التربة في الأفق العلوي من التتابع يمكن أن تكون ذات خصائص هندسية غير متوقعة نتيجة لوجود معادن طينية غير عادية نشأت عن طريق تجوية الصخور التي تحتوي علي نسبة عالية من معادن الحديد و الماغنسيوم .

١٠/٩/٤/١(ج) تتابع التجوية بالصخور المتحولة

نظراً لأن التركيب أوالنسيج المتباين لهذه الصخور يتراوح بين الشيستوزي Schistose إلى النايس شبه الكتلي nearly massive gneiss فإن تتابع التجوية لهذه الصخور يمكن أن يكون متبايناً بدرجة عالية كما هو موضح بالشكل (١٠-٢٧) . وينشأ عن ذلك فروق واضحة في عمق تتابع التجوية قد يصل إلى ٥٠ متراً بين نقاط علي بعد أمتار من بعضها البعض في الاتجاه الأفقي ، كما أن الحواجز المقتحمة intrusive dykes من الصخور النارية التي توجد عادة في تكوينات هذه الصخور قد تكون ذات مقاومة أقل أو أكبر من الصخور المتحولة المحيطة بها، لذا فإن الانزلاقات علي هذه المستويات الفاصلة والاختلاف الشديد في عمق التجوية والمياه الأرضية المخزونة تحت ضغط مرتفع داخل الصدوع تعتبر من المشكلات المحتملة في هذه التكوينات.

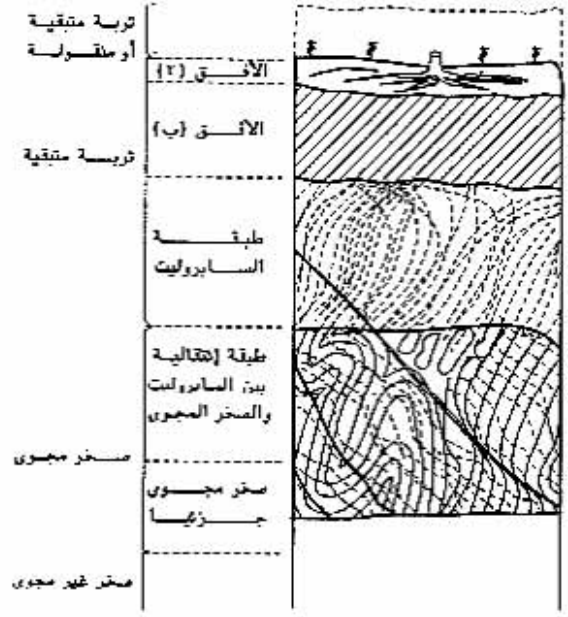
١٠/٩/٤/١(د) تتابعات التجوية في الصخور الجيرية

سبق تناول التكوينات التكهفية والفجوات التي تنشأ داخل الكتلة الصخرية نتيجة لتجوية الصخور الجيرية . ويمكن أيضا أن تتسبب نفس عوامل التجوية في التأثير علي سطح هذه الصخور وينشأ عن ذلك مناطق تماس حادة sharp contacts من التربة و الصخر المجوي كما هو موضح بالشكل (١٠– ٢٨) علي عكس ما يحدث في الصخور النارية أو المتحولة . وفي بعض الأحيان تتكون طبقة السابرولايت في الصخور الكربونية من تشيرت chert أو رمل أو طين وتحافظ علي نفس شكل التركيب relict - structure مع التجوية . إلا أنه في معظم الحالات تختفي الكربونات وتبقي العناصر غير القابلة للذوبان والتي تظهر عادة في صورة تربة ذات لون أحمر داكن terra rosa يرقد فوق الصخر المجوي . وقد يتكون سطح صخري شديد التعرج نتيجة للتجوية علي إمتداد الفوالق أو الفواصل شبه الرأسية . كما قد تمتلئ الفراغات بين الأجزاء البارزة بطين لين . لذا فإن عملية الإنشاء في هذه المناطق يمكن أن تقابل بمشكلات نتيجة للعروق الطينية أو الطين اللين أو السطح المتعرج لصخر الأساس bedrock أو المتبقيات الانهيارية غير المتزنة unstable collapse residuum أو الفجوات .

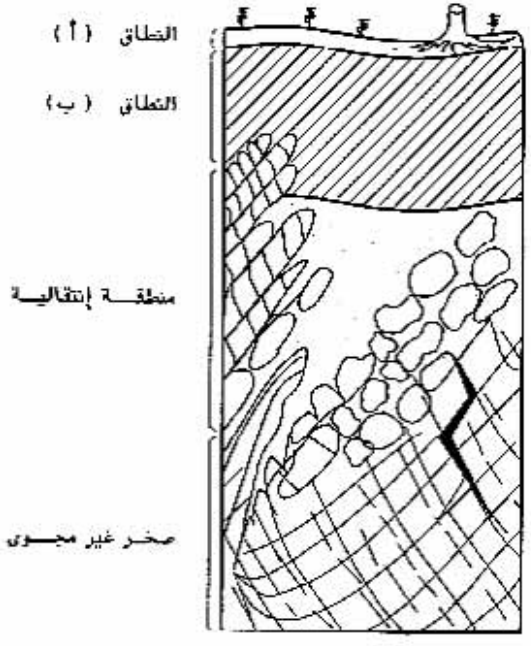
١٠/٩/٤/١(هـ) تتابعات التجوية بالصخر الطيني

تحدث التجوية لهذه الصخور أيضا علي امتداد الفواصل والشقوق ، إلا أن سمك تتابع التجوية يكون أقل بصفة عامة ، كما أن الطبقة الانتقالية من التربة إلي الصخر غير المجوي تكون أكثر تدرجا . و الصخر الطيني يتكون عموما من معادن نشأت من تجوية صخور أخري ، لذا فإنه لا يتأثر بنفس درجة الصخور الأخري في البيئة الجديدة للتجوية (الكيميائية) إلا أن عوامل التجوية الميكانيكية مثل الجفاف والبلل أو التجمد والذوبان أو زوال الإجهادات تلعب دورا هاما في تشكيل تتابعات التجوية بالصخور الطينية . لذا فإن زيادة التشققات والكسور فيها تدل علي زيادة درجة التجوية . كما يلاحظ أن وجود الحجر الرملي متداخلاً مع الصخر الطيني يمكن أن يتسبب في زيادة تعقيد أنماط التجوية ومشكلات عدم الاتزان .

وبصفة عامة فإنه من الناحية الهندسية التصميمية تتأرجح طبيعة أعمال الحفر في الصخر الطيني بين ميكانيكا الصخور وميكانيكا التربة ، وأغلب الصخور الطينية المجواة يمكن التعامل معها كطين مضغوط consolidated clay .



شكل (١٠-٢٧) شكل نمطى لتجوية الصخور المتحولة



شكل (١٠-٢٨) شكل نمطى لتجوية الصخور الكربونية

١٠/٩/٤/٢ اعتبارات التصميم فى طبقات التماس

١٠/٩/٤/٢(أ) فى طبقات السابرولیت

نظرا لاحتمال وجود أسطح عدم اتصال discontinuities فى مناطق السابرولیت ، فإنه قد يتعذر تقييم انزلاق أو انقلاب toppling الكتل الصخرية الضعيفة عند إجراء تحليلات الاتزان. ولذا فإنه يمكن تطبيق نظرية الكتلة الأساسية key - block theory فى مثل هذه الحالات [١٥].

وعلاوة على أن أسطح عدم الاتصال هذه قد تكون المسار الرئيسى للنفاذية فى طبقة السابرولیت، فإن ضغط المياه فى بعض الفواصل قد يلعب دوراً أساسياً فى اتزان عمليات الحفر. لذلك ، ولأغراض التصميم يجب اعتبار طبقات السابرولیت على أنها صخر متشقق seamy كتلى ضعيف ، وتتحكم أسطح عدم الاتصال فى سلوكها . أما لأغراض الحفر ، فيمكن معاملة طبقات السابرولیت على أنها تربة جامدة أو قاسية firm والتى يتطلب الحفر فيها استخدام طرق الحفر النمطية فى التربة .

١٠/٩/٤/٢(ب) فى الطبقات التى تعلو الصخر السليم

تتميز المواد الموجودة أسفل طبقات السابرولیت بصعوبة أكبر فى تحديد طبيعتها . فهى إما أن تكون على شكل طبقة من التربة تحتوى على كسور من الصخر بدرجة أقل أهمية أو على شكل كتلة من الصخر لها نفس سلوك التربة ، أو عبارة عن عروق قابلة للانضغاط. علاوة على ذلك فإن الصخر الموجود فى هذه المناطق ، وبرغم عدم انتظام سطحه ، قد يكون مناسباً لتحمل بعض الأحمال بعد إزالة هذه البروزات إلى عمق مناسب ، أو تنظيف مابينها وملئها بالخرسانة. وقد يكون مناسباً إنشاء قواعد خفيفة على هذا الصخر بحيث تمنع عدم مركزية الأحمال على الكتل المتفرقة . وإذا وجد أن هذه الأساليب قد تتسبب فى هبوط زائد عن الحد ، فإن البديل الأنسب هو استخدام الأساسات العميقة بشرط أن تمتد بعمق مناسب حتى تصل إلى الصخر السليم .

ملحق (أ)

أنواع الصخور و التراكيب الجيولوجية وبعض المشاكل التى تتعرض لها

أ/١ مقدمة

يقدم هذا الملحق المعلومات والمبادئ الأساسية التى تعين المهندس علي التعرف على طبيعة وخصائص التكوينات الجيولوجية من المعادن والصخور التى تغطى سطح الأرض والتى تمثل طبقات التأسيس للمنشآت الهندسية المختلفة. ويتعرض هذا الملحق أيضاً لأهم المشاكل الهندسية التى تنجم عن التراكيب الجيولوجية وبعض التكوينات الصخرية والمياه الجوفية مع ذكر بعض الأمثلة عليها. ويشمل الكود على هذا الملحق بالإضافة إلى ملحقين آخرين ، الملحق (ب) به عرض مختصر لأهم التكوينات الجيولوجية الظاهرة على سطح الأرض بجمهورية مصر العربية والتراكيب الجيولوجية المؤثرة عليها ، والملحق (ج) يتضمن مصادر الحصول على المعلومات الجيولوجية والطبوغرافية من تقارير وخرائط لجمهورية مصر العربية والأماكن التى توجد بها.

أ/٢ المعادن

أ/٢/١ تعريف

المعدن mineral مادة صلبة متجانسة غير عضوية تكونت بطريقة طبيعية ولها تركيب كيميائى محدد وترتيب ذرى داخلى منتظم ينعكس على شكلها الخارجى على شكل أوجه بلورية قد ترى بالعين المجردة أو بعدسة مكبرة أو تحت الميكروسكوب [١٨ ، ٣٢] .

أ/٢/٢ تصنيف المعادن

يوضح جدول (أ – ١) تقسيمات المعادن. وبدراسة توزيع العناصر الكيميائية المختلفة فى تركيب المعادن المختلفة بصخور القشرة الأرضية وجد أن هناك ثمانية عناصر كيميائية تمثل ٩٨%من وزن المعادن المختلفة. وهذه العناصر الكيميائية الثمانية هى:الأكسيجين (٤٦,٦%) ، السليكون (٢٧,٧%) ، الألومنيوم (٨,١%) ، الحديد (٥%) ، الكالسيوم (٣,٦%)، الصوديوم (٢,٨%) ، البوتاسيوم (٢,٦%) ، والماغنسيوم (٢,١%). أما باقى العناصر الكيميائية الأخرى فتكون (١,٥%) فقط من وزن المعادن بالقشرة الأرضية.

جدول (أ – ١) : تقسيمات المعادن

مجموعة المعادن	المعادن ذات العنصر الكيميائى الواحد	المعادن متعددة العناصر الكيميائية					
		الكبريتيدات	الكبريتات	الأكاسيد	الهاليدات	الكربونات	السليكات
أمثلة	الكبريت S الجرافيت C الذهب Au الفضة Ag	البيرايت الجالينا	الجبس الأنهيدرايت	الهيماتيت الليمونايت	الهاليت (ملح الطعام) Na Cl الفلورايت	الكالسيت * الدولومايت	السليكا **

* المعدن الرئيسى فى الحجر الجيرى

** المعدن الرئيسى فى الحجر الرملى

أ/٣ الصخور

تقسم الصخور المختلفة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى الصخور الرسوبية والصخور النارية والصخور المتحولة [٣٣] .

أ/٣/١ الصخور الرسوبية

تتكون الصخور الرسوبية sedimentary rocks بالترسيب الطبيعى فوق سطح الأرض أو تحت سطح الماء فى الأنهار أو البحيرات أو البحار والمحيطات. وتوجد الصخور الرسوبية على شكل طبقات تعلو كل منها الأخرى ويتراوح سمك كل طبقة بين عدة ملليمترات الى عدة أمتار. وتشمل الصخور الرسوبية ثلاثة أقسام رئيسية هى الصخور الرسوبية الحبيبية والصخور الرسوبية الكيميائية والصخور الرسوبية العضوية [٦].

أ/٣/١/١ الصخور الرسوبية الحبيبية

تتكون الصخور الرسوبية الحبيبية clastic sedimentary rocks من ترسيب الحبيبات التى سبق تكسيرها (بالتجوية) من صخور أخرى ونقلها بعوامل نقل طبيعية مختلفة إلى مكان الترسيب. ويسمى الراسب الناتج من عملية الترسيب حسب قطر الحبيبات الموجودة به فإذا قل قطر هذه الحبيبات عن ٠,٠٠٢ من الملليمتر يسمى الراسب طين clay أما إذا كان قطر الحبيبات يتراوح بين ٠,٠٠٢ ملليمتراً و ٠,٠٦ ملليمتراً يسمى الراسب طمى silt وإذا كان يتراوح بين ٠,٠٦ ملليمتراً و ٢ ملليمتراً يسمى الراسب رمل sand أما إذا زاد القطر عن ٢ ملليمتر يسمى الراسب زلط gravel ويقسم كل من الرمل والزلط إلى أحجام مختلفة كذلك.

وإذا تماسكت حبيبات الراسب مع بعضها بواسطة مادة لاحمة طبيعية أو بانضغاط الراسب طبيعيا ينتج صخرا رسوبيا يسمى كنجلومرات conglomerates ، أو حجر رملى sandstone ، أو حجر طمىى siltstone ، أو حجر طينى claystone حسب نوع الراسب إذا ما كان زلط ، رمل ، طمى ، أو طين ، على الترتيب. وإذا زاد الضغط الواقع على الحجر الطينى ، تترتب حبيبات الطين فى مستويات متوازية مع بعضها ويسمى الصخر الناتج بالطين الصفحى shale .

أ/٣/١/٢ الصخور الرسوبية الكيميائية

تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية نتيجة للتفاعل الكيميائى بين الأيونات مختلفة الشحنة الذائبة فى ماء البحر أو المحيط وينتج من هذا التفاعل الكيميائى راسب مثل كربونات الكالسيوم (التى تكون الحجر الجيرى) أو كربونات الكالسيوم والماغنسيوم (التى تكون الدولوميت) أو أكسيد الحديديك (الذى يكون خام الحديد الأحمر) وغيرها. وتتكون بعض الأنواع الأخرى من الصخور الرسوبية الكيميائية من تبخر جزء من ماء البحر أو المحيط حيث ينتج من البخر رواسب يطلق عليها صخور المتبخرات وتشمل الجبس والأنهيدرايت والملح الصخرى (الهاليت) وخلافه.

أ/٣/١/٣ الصخور الرسوبية العضوية

تتكون الصخور الرسوبية العضوية من تراكم البقايا النباتية أو الحيوانية فى مكان ما. ومن أمثلة هذه الصخور رواسب الفحم (التى تتكون من دفن بقايا الأشجار والنباتات) والحجر الجيرى العضوى (الذى تكون من تراكم الأصداف الصلبة للحيوانات البحرية) والفوسفات (الذى تكون من تراكم عظام الأسماك والفقاريات).

أ/٢/٣ الصخور النارية

تتكون الصخور النارية igneous rocks من تبرد وتجمد الصخور المنصهرة (المجما magma أو اللافا lava) داخل الأرض أو على سطحها. وتعرف المجما أواللافا بأنها خليط ساخن من معادن السليكات المنصهرة التى قد تكون موجودة داخل الأرض أو تخرج إلى سطح الأرض من خلال البراكين والشقوق العميقة جداً [٤]. وتتميز الصخور النارية بأنها تتكون من معادن متبلورة لا يفصلها عن بعضها أية فراغات حيث يكون نسيج المعادن معشقا interlocked . وتسمى الصخور النارية الناتجة من تبرد المجما داخل الأرض بالصخور النارية الجوفية plutonic igneous rocks أما تلك التى تنتج من تجمد اللافا على سطح الأرض فتعرف بالصخور النارية البركانية volcanic igneous rocks. ولما كانت الصخور النارية الجوفية تنتج من تبلور المجما داخل الأرض فإن التبريد يكون بطيئا ومن ثم تأخذ البلورات وقتا كافيا للنمو فيكون لها حجم مناسب يمكن رؤيته بالعين المجردة. وعلى عكس ذلك نجد أن الصخور النارية البركانية نتجت من التبريد السريع للافا على سطح الأرض نتيجة الفقدان السريع للحرارة إلى الغلاف الجوى المحيط باللافا وبالتالي لم تأخذ البلورات الوقت الكافى لنموها فتصبح صغيرة فى الحجم فلا يمكن رؤيتها بالعين المجردة ولا بد من استخدام الميكروسكوب لرؤيتها. وفي بعض الأحيان يكون تبرد اللافا أسرع ما يمكن فيصبح للصخر النارى البركانى الناتج نسيجا زجاجيا مثل صخر الزجاج البركانى volcanic glass .

ومن أمثلة الصخور النارية الجوفية الجرانيت granite والدايورايت diorite والجابرو gabbro وغيرها. ومن أمثلة الصخور النارية البركانية البازلت basalt والرايوليت rhyolite والبيوميس pumice والأوبسيديان obsidian وغيرها. ويلاحظ أن البيوميس (الحجر الخفاف) ملئ بالفجوات التى تكونت نتيجة هروب الغازات المصاحبة للافا عند تبلورها فتترك مكانها هذه الفجوات.

ويمكن تقسيم الصخور النارية تقسيما أخرا على أساس تركيبها الكيميائى حيث تقسم إلى صخور نارية قاعدية وصخور نارية حمضية وصخور نارية متوسطة التركيب. وتكون الصخور النارية القاعدية غنية بالماغنسيوم والحديد وشحيحة فى عنصر السليكون . أما الصخورالنارية الحمضية فتكون غنية بعنصر السليكون وشحيحة فى عنصرى الماغنسيوم والحديد. أما الصخور النارية المتوسطة التركيب فتحتل موقعا متوسطا بين الصخور القاعدية والحمضية. ويمكن تمييز الصخور القاعدية كالبازلت والجابرو بلونها الداكن أما الصخور الحمضية كالجرانيت والرايوليت

فلونيا فاتح.

أ/٣/٣ الصخور المتحولة

تتكون الصخور المتحولة metamorphic rocks بزيادة الحرارة أو الضغط أو الحرارة والضغط معا على أى نوع من الصخور [٤]. وتبعا لذلك تتحول الصخور ويحدث إعادة تبلور لمعادنها تحت الظروف الجديدة من الحرارة والضغط. وتؤدى زيادة الحرارة عند التحول إلى زيادة حجم بلورات المعادن الجديدة كما يؤدى زيادة الضغط عند التحول إلى ترتيب المعادن الجديدة فى مستويات متعامدة على اتجاه الضغط السائد فيكتسب الصخر المتحول نسيجا مرتباً يكون بمثابة مستويات ضعف فيه.

ومن أمثلة الصخور المتحولة بزيادة الحرارة الرخام marble الذى ينتج عن تحول الحجر الجيرى والكوارتزايت quartzite الذى ينتج عن تحول الحجر الرملى. ومن أمثلة الصخور المتحولة بزيادة الضغط الأردواز slate الذى ينتج من تحول الصخور الطينية بزيادة الضغط الواقع عليها. أما الصخور التى تتحول بزيادة الحرارة والضغط معا فيمثلها الشست schist الذى ينتج عن تحول الصخور الطينية والنايس gneiss الذى ينتج عن تحول بعض الصخور النارية كالجرانيت.

أ/٤ بعض المشاكل التى تتعرض لها الصخور

توجد مجموعة من الصخور التى تتميز بمشاكل تخصها دون غيرها. وهذه الصخور تشمل المتبخرات والصخور الكربونية والصخور الطينية والصخور التى تفقد قواسها والصخور عالية التحوية والصخور التى تؤثر على الخرسانة.

أ/٤/١ ذوبان المتبخرات

المتبخرات evaporites هى مجموعة من الصخور تكونت من ترسيب المعادن الذائبة فى المياه المالحة كمياه البحار والمحيطات.

أ/٤/١/١ أنواع المتبخرات

الجبس: Gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) وهو أكثر المتبخرات تواجداً على سطح الأرض ويتميز بمعامل ذوبان ضعيف يؤدى إلى تكون كهوف وممرات مائية على المدى البعيد.

الملح الصخرى: (Halite (NaCl ويتواجد تحت سطح الأرض فى القباب الملحية ويتميز بقدرة عالية على الذوبان.

الأنهيدرايت ($CaSO_4$) Anhydrite ويتواجد مع طبقات الملح والجبس ويتميز بقدرة عالية على امتصاص المياه وزيادة الحجم ليتحول إلى الجبس.

أ/٤/١/٢ المشاكل الهندسية للمتبخرات

- الذوبان البطئ للجبس (خلال عشرات السنين) يزيد من تركيز الكبريتات فى التربة مما يؤدى إلى تآكل خرسانة المنشآت كما أنه قد يحدث هبوطا متفاوتاً على المدى البعيد أو تكوين فجوات وممرات أرضية.
- يسبب الملح الصخرى هبوطاً كبيراً للطبقات السطحية نتيجة ذوبانه السريع (خلال سنوات قليلة) بالمياه الجوفية.
- يسبب امتصاص الأنهيدرايت للماء زيادة كبيرة فى حجمه مما يؤدى إلى حدوث انتفاشات فى طبقة التأسيس ممكن أن تتسبب فى حدوث شروخ بالقواعد والكمرات التى تربطها.

أ/٤/٢ ذوبان الصخور الكربونية

تتواجد الصخور الكربونية carbonate rocks بكثرة على سطح الأرض نتيجة للترسيبات البحرية فى الأزمنة الجيولوجية السابقة. وتتميز بعض أنواع من هذه الصخور بمعدلات ذوبان متوسطة (تستغرق مئات السنين) تحت تأثير المياه الجوفية أو المياه السطحية. ويتم الذوبان عن طريق تحول كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات الكالسيوم التى تذوب فى المياه الحمضية. ومن أهم المشاكل الهندسية للصخور الكربونية قابليتها للذوبان (على المدى البعيد) مما يؤدى إلى تكوين فجوات أو كهوف karstification أو ممرات تحت أرضية. ويحدث هبوط أو انهيار لهذه التجاويف تحت تأثير الضغوط الناتجة عن وزن الطبقات أو المنشآت السطحية. ومن أهم المظاهر السطحية لهذه الصخور تكون المنخفضات التى تشبه الحفر الطبيعية ويطلق عليها بالوعات الذوبان sinkholes.

أ/٤/٣ انتفاش الصخور الطينية

تتواجد الصخور الطينية claystones على هيئة طبقات تتميز بتركيب ثانوى يطلق عليه التصفح fissility . ومن أهم المعادن المكونة للصخور الطينية معدن الكاولينيت kaolinite ومعدن

المونتموريلونايت montmorillonite ومعدن الإلايت illite . ومن المشاكل الهندسية للصخور الطينية ما يلي:

- تميز الصخور الطينية الغنية بمعدن المونتموريلونايت قدرتها العالية على زيادة الحجم (الانتفاش) نتيجة امتصاص المياه داخل هذا النوع من المعادن الطينية. ويؤدى هذا الانتفاش إلى حدوث التصدع والتشرخ فى المنشآت الهندسية نتيجة ضغوط الانتفاش العالية على أساساتها.

- وجود الصخور الطينية على هيئة طبقات رفيعة أو مائلة داخل التراكيب الجيولوجية يمكن أن يسبب انزلاقات وانهيار الكتل الصخرية نتيجة فقدان قوة القص لهذه الكتل الضعيفة والتى غالبا ما تتأثر مقاومتها بزيادة نسبة الرطوبة بها عن طريق المياه الجوفية أو المياه المتسربة من السطح.

أ/٤/٤ فقدان القوام

تتميز بعض الصخور بفقدها لقوامها slacking عند زيادة المحتوى المائى بها وتحتوى هذه الصخور عادة على نسبة كبيرة من المعادن الطينية قد تصل إلى أكثر من ٤٠%. ومن الأمثلة الشهيرة لهذه النوعية من الصخور المارل وبعض أنواع الحجر الطيني والطميى. ومن المشاكل الهندسية التى يسببها المارل حدوث انزلاقات نتيجة زيادة نسبة المحتوى المائى وكذلك الزحف البطئ أو السريع على مستويات الانزلاق.

أ/٤/٥ الصخور عالية التجوية

تتأثر الصخور عالية التجوية highly weathered rocks تأثراً كبيراً على المدى البعيد (خلال عشرات السنين) بعوامل التعرية السطحية وتحت السطحية مثل المياه والرياح والأحماض الذائبة فى المياه السطحية مما يؤدى إلى تحولها إلى مواد طينية ضعيفة. ومن هذه الصخور البازلت basalt والطباشير chalk والتلك الشستى talc schist والكلورايت الشستى chlorite schist . ومن أهم المشاكل الهندسية الناجمة عن هذه الصخور:

- حدوث انهيار لحواف القطع.
- تكوين فجوات.
- حدوث انزلاقات أرضية.

أ/٤/٦ التأثير على الخرسانة المسلحة

توجد مجموعة من الصخور التى ينتج عن ذوبانها أملاح عالية التركيز مثل الكبريتيدات التى تهاجم القواعد الخرسانية للمنشآت. ومن أمثلة هذه الصخور الزجاج البركانى والجبس والملح الصخرى.

أ/٥ التراكيب الجيولوجية والمشاكل الهندسية المرتبطة بها

أ/٥/١ مقدمة

تعرف التراكيب الجيولوجية geologic structures بأنها عبارة عن أشكال تميز الصخر. وقد تكون بعض هذه التراكيب أولية أى أنها نشأت وقت تكون الصخر وقد تكون بعضها ثانوية أى أنها نشأت بعد تكون الصخر [٥]. ومن أمثلة التراكيب الجيولوجية مستويات عدم الاتصال والطيات.

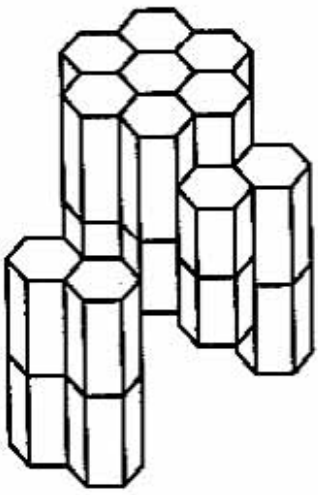
أ/٥/٢ مستويات عدم الاتصال

تعرف مستويات عدم الاتصال discontinuities بأنها مستويات كسر تفصل الصخر إلى جزئين على جانبى هذا المستوى. ومن أمثلة مستويات عدم الاتصال الفواصل والشروخ وأسطح التطبق وأسطح التطبق المتقاطع والانفصالات والصدوع أو الفوالق.

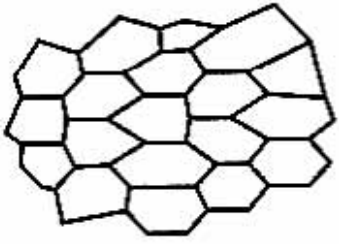
أ/٥/٢/١ الفواصل

يعرف الفاصل joint بأنه كسر فى الكتلة الصخرية لم تحدث عليه إزاحة. وتوجد أنواع كثيرة من الفواصل تصنف حسب طبيعة تكوينها. فمنها ما هو ذو أصل جيولوجى أى نتج عن ضغوط واجهادات طبيعية على الطبقات الصخرية (مثل فواصل القص shear joints وفواصل الشد extension joints) ومنها ما هو غير تكتونى كالفواصل الناتجة عن تبريد اللافا فوق سطح الأرض عند خروجها من باطن الأرض وتعرضها لدرجة حرارة الجو العادية (مثلا الفواصل السداسية التى تكون أعمدة طبيعية فى البازلت كما هو موضح بالشكل (أ - ١)). وتتواجد الفواصل فى الكتل الصخرية على هيئة مجموعات من الفواصل المتوازية أو قد تكون موزعة توزيعا عشوائيا بالصخر.

تتسبب الفواصل فى تقليل جودة الكتلة الصخرية نتيجة إضعافها بمستويات عدم اتصال لذلك فقد ينتج من هذه الفواصل انهيارات لأسطح المنحدرات نتيجة تواجد فواصل فى اتجاه غير ملائم



شكل ثلاثى الابعاد
يوضح أعمدة البازلت التى
تفصلها الفواصل السداسية



مسقط أفقى
يوضح الفواصل السداسية

شكل (أ -١) الفواصل السداسية فى صخر البازلت

لمستوى الانحدار. ومن أهم أنواع الانهيارات على أسطح المنحدرات شكل (أ - ٢):

١- الانهيار المستوى plane failure

٢- الانهيار الكتلى wedge failure

٣- الانقلاب toppling

٤- الانهيار المقوس circular failure

ويظهر تأثير الفواصل كعامل هام ومؤثر فى عدم ثبات الحافة الجنوبية لهضبة جبل المقطم حيث يوجد عدد كبير من الفواصل ذات الاتجاه الموازى للحافة تتقاطع مع فواصل عمودية عليها مما يؤدى إلى تكون كتل منفصلة تنزلق مع قوة الجاذبية ، بالإضافة إلى عدم ثبات طبقات الطين الواقعة أسفلها. وقد سجل انهيار كتل تصل أوزانها لأكثر من مائة طن محاطة بفواصل طبيعية من جميع جوانبها.

أ/٥/٢/٢ الشروخ

الشرخ fracture هو فاصل غير منتظم الشكل نتيجة تهشيم جوانبه تكتونيا أو نتيجة التجوية ، والشرخ له نفس تأثير الفواصل على الكتل الصخرية فهو يقلل من درجة جودتها ويضعفها. ويلاحظ أيضا أن الفاصل والشرخ لم يحدث على جانبيهما إزاحة للصخور.

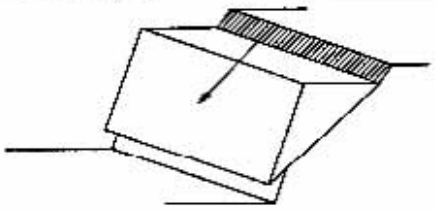
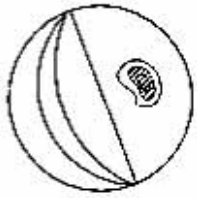
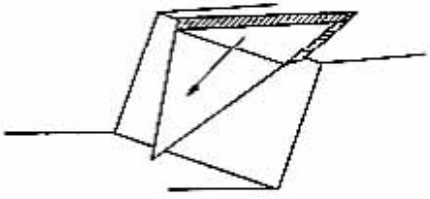
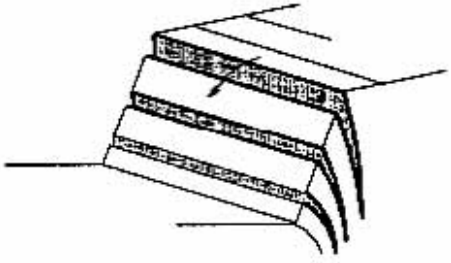
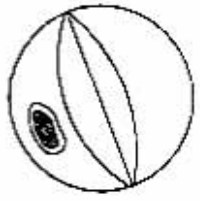
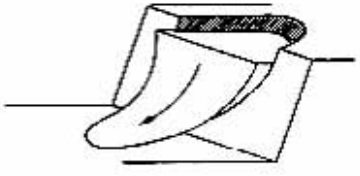
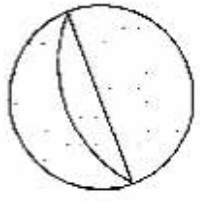
أ/٥/٢/٣ الصدوع أو الفوالق

الصدع أو الفالق fault هو كسر فى الصخور حدثت إزاحة على جانبيه أثناء تكونه شكل (أ -٣). وتقسم الصدوع على أساس اتجاه الإزاحة إلى صدوع ميل dip-slip faults وصدوع مضرب strike-slip faults وصدوع تجمع الاتجاهين معا oblique-slip faults . ويفصل الصدع الصخر إلى كتلتين هما حائط الصدع العلوى وحائط الصدع السفلى وتتميز الصدوع بزاوية ميل محددة وكذلك باتجاه ميل محدد ويكون لمعظمها نطاق تهشيم يسمى بنطاق الصدع fault zone وهذا النطاق قد يمتلئ بفتات صخرى يسمى بريشيا الصدع fault breccia أو مواد ناعمة تسمى طحين الصدع fault gouge .

ومن أهم المشاكل الهندسية المرتبطة بالصدوع ما يلى:

١- حدوث هبوط متفاوت نتيجة تواجد صخور مختلفة الخصائص على جانبى الصدع مثل تواجد حجر جيرى وطين صفحى على جانبى الصدع.

٢- حدوث انهيار للمنشأ نتيجة تجدد الإزاحة على سطح الصدع فى حالة الصدوع النشطة جيولوجيا.

أشكال الانهيار	المساقط الاستريوجرافية
 انهيار مستوى	
 انهيار كتلي	
 انقلاب	
 انهيار مقوس	

شكل (أ-٢) شكل الانهيار الصخرى ومسافطها الإستريوجرافية

٣- زيادة منسوب المياه الجوفية للطبقات السطحية نتيجة اختراق الصدع للخزان الجوفى وصعود المياه خلال نطاق الصدع.

٤- احتمال وجود كهوف وممرات مائية نتيجة تآكل وذوبان نطاق الصدع.

أ/٥/٢/٤ أسطح التطبق

تمثل أسطح التطبق bedding planes مستويات الضعف التى تفصل بين طبقتين مختلفتين فى زمن الترسيب وتكون هذه المستويات أفقية فى حالة عدم تأثر طبقات الصخر بأية عمليات تكتونية أو تأخذ ميولاً شكل (أ -٤) تتراوح من الصفر إلى ٩٠ درجة حسب شدة الضغوط الجيولوجية الطبيعية التى أثرت عليها. ومن أهم المشاكل الهندسية المرتبطة بأسطح التطبق المائلة أو الرأسية هو حدوث انزلاق تحت تأثير المياه أو الأحمال الخارجية تؤدى إلى تحرك الطبقات على مستوى الضعف المتواجد بينهما مثل انزلاق طبقات الطين الصفحى على الحجر الجيرى.

أ/٥/٢/٥ أسطح التطبق المتقاطع

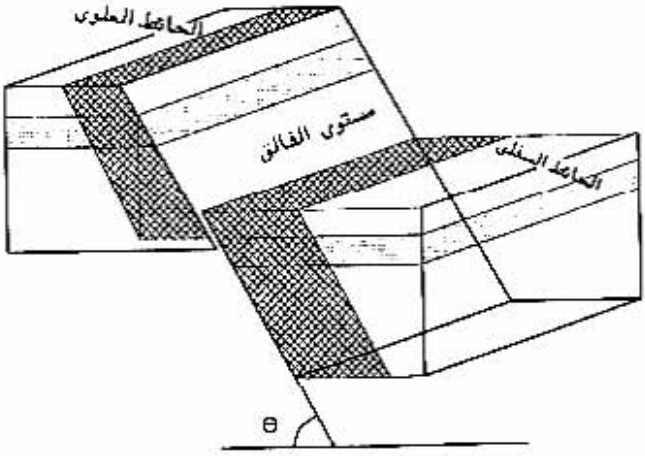
ينتج هذا النوع من مستويات الضعف نتيجة ترسيب الرمل بتيار مائى أو بالرياح التى تغير من اتجاه حركتها مما يؤدى إلى حدوث تطبق متقاطع cross bedding شكل (أ – ٥). ويميز هذا النوع من التطبق الصخور ذات الأصل الرسوبى المتكونة من حبيبات الرمل المتماسكة مثل الحجر الرملى النوبى Nubian sandstone . وتضعف هذه المستويات الكتل الصخرية الموجودة بها وتقلل من درجة تحملها.

أ/٥/٢/٦ التورق

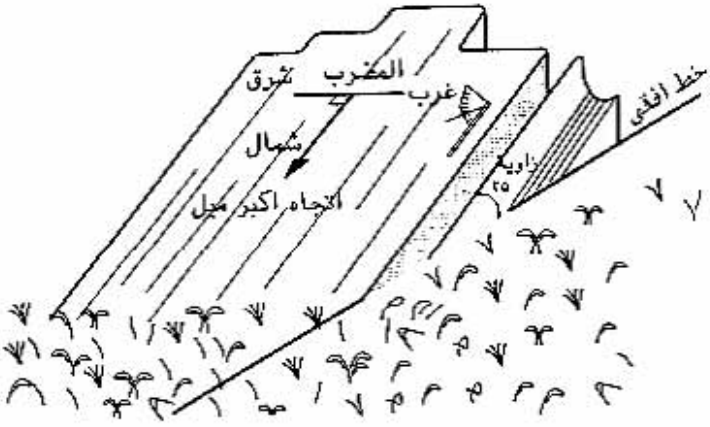
ينتج هذا النوع من مستويات الضعف نتيجة ترتيب المعادن ترتيباً متوازياً فى اتجاه معين تحت تأثير الضغط التكتونى أثناء تكوين الصخور المتحولة و يسمى التورق foliation . وتكون قوة تحمل الصخر ضعيفة جداً فى الاتجاه الموازى لهذه الانفصالات. ومن أمثلة الصخور التى تحتوى على هذه الانفصالات الشست والأردواز.

أ/٥/٣ الطيات

تعرف الطيات folds بأنها ثنيات بالطبقات الصخرية تؤدى إلى تغير ميول الطبقات عن وضعها



شكل(أ-٣) بعض أجزاء الفالق والحركة النسبية للكتلة



شكل (أ-٤) الطبقات المائلة

الأصلى. وتتكون كل طية من جناحين يلتقيان فى خط واحد يسمى محور الطية شكل(أ-٦).
ويوجد منها نوعان رئيسيان هما:

الطيات المحدبة : anticlines وتتميز بأن ميول الطبقات فى جناحى الطية تكون للخارج بعيدا عن محور الطية وتكون الصخور القديمة فى ناحية المحور.

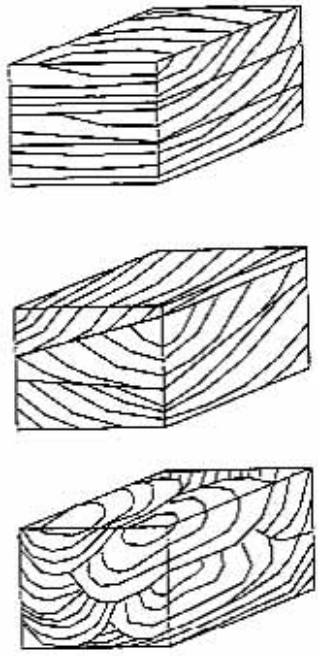
الطيات المقعرة : synclines وتتميز بأن ميول الطبقات فى جناحى الطية تكون للداخل فى اتجاه محور الطية كما تكون الطبقات الحديثة ناحية المحور. ومن الممكن أن يكون محور الطية مائلاً وتسمي الطية عندئذ بالطية مائلة المحور شكل (أ -٧).

وبجانب الطيات المحدبة والمقعرة توجد كذلك القباب الملحية salt domes شكل(أ - ٨) وهى عبارة عن ثنى للطبقات نتيجة صعود طبقات الملح العالية اللدونة إلى السطح مخترقة الصخور التى تعلوها مكونة طية إختراقية diapiric fold . ويتميز هذا النوع من الطيات بأن الطبقات الموجودة فى جوانب القبة المتكونة تكون ذات ميول شديدة. أما عن المشاكل الهندسية المرتبطة بهذا النوع من الطيات فتتمثل فى حدوث هبوط كبير نتيجة ذوبان طبقات الملح أو تحركها تحت تأثير ضغط الصخور التى تعلوها أو انزلاق الطبقات نتيجة الميول الشديدة.

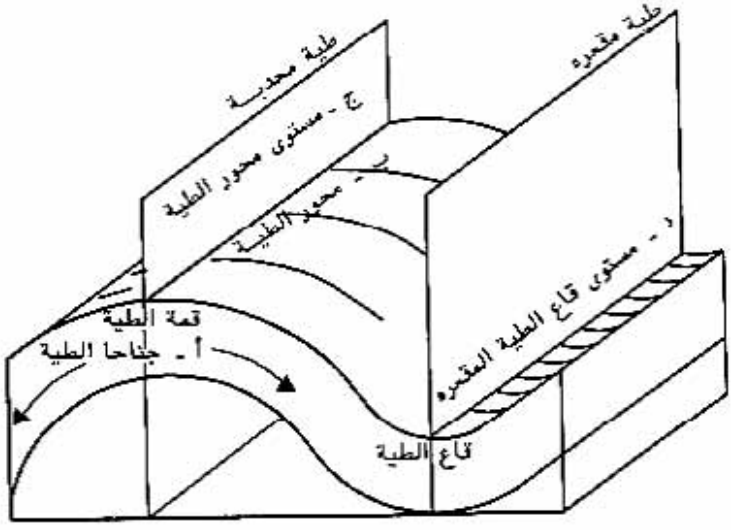
أ/٦ المياه الجوفية

تعرف المياه التى تتخلل التربة والصخور بالمياه الجوفية ومصدر هذه المياه هو مياه الأمطار المتسربة خلال الطبقة السطحية لسطح الأرض أو أية مياه أخرى تتسرب إلى داخل الأرض جانبيا من الأنهار والبحار والمحيطات إلى المناطق المجاورة. ويعرف السطح العلوى لهذه المياه بمنسوب الماء الجوفى groundwater table. وهذا المنسوب ليس أفقيا بل يوازى الشكل الطوبوغرافى لسطح الأرض إلا إذا حال بينه وبين سطح الأرض وجود طبقة أو طبقات غير منفذة impermeable layers . والعامل الرئيس المتحكم فى قدرة التربة والصخور على خزن المياه داخلها هو مسامية التربة أو الصخر porosity سواء كانت هذه المسامية نتيجة المسام الموجودة بين حبيبات الصخر أو التربة أو الكسور والشقوق الموجودة بالصخر. كما أن العامل الرئيسى الذى يتحكم فى حركة المياه داخل الصخور والتربة هو النفاذية permeability .

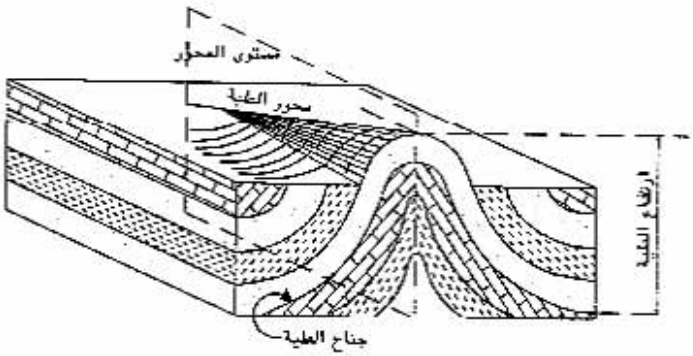
وتسمى الطبقات الحاملة للمياه الجوفية بخزانات الماء الجوفى groundwater aquifers . وتقسم هذه الخزانات إلى خزانات غير محبوسة unconfined aquifers وخزانات محبوسة confined aquifers . أما الخزانات المحبوسة فهى التى يحدها من أعلى ومن أسفل طبقات



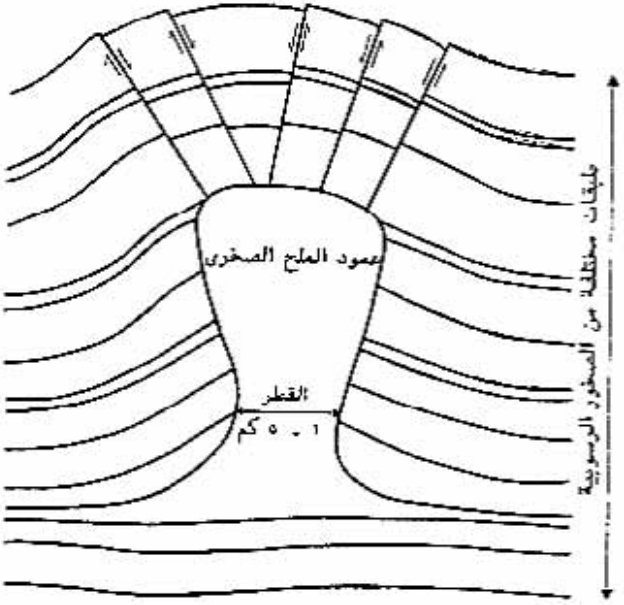
شكل (أ-٥) أشكال مختلفة للتطبق المتقاطع



شكل (أ-٦) طية مقعرة وطية محدبة محورهما أفقى ومستواهما المحورى رأسى ويميل جناحا كل منهما بزوايا متساوية



شكل (أ-٧) طية محدبة مائلة المحور



شكل (أ-٨) القباب الملحية

غير منفذة على عكس الخزانات غير المحبوسة فلا يحدها من أعلى طبقات غير منفذة. ومن أمثلة خزانات الماء الجوفى فى جمهورية مصر العربية ما يلى:

- خزان الحجر الرملى النوبى ويعتبر من خزانات الماء الجوفى المحبوسة.
- خزانات التربة المترسبة فى الأودية فى بعض مناطق الصحراء الشرقية وسيناء وتمثل خزانات ماء جوفى غير محبوسة.

يتم التعرف على تواجد المياه الجوفية وخصائصها الهيدروجيولوجية عن طريق المسح الجيوفيزيقى ودراسات الموقع الجيولوجية. ويؤدى وجود المياه الجوفية وحركتها داخل طبقات الأرض التى يتم التأسيس عليها إلى بعض المشاكل الهندسية التى يمكن إجمالها فيما يلى:

١- إضعاف طبقة التأسيس بتكوين كهوف ومسارات للمياه الجوفية وبصفة خاصة فى طبقات الحجر الجيرى مكونة ما يسمى أشكال الذوبان بالمياه الجوفية groundwater karst .

٢- دفع المنشأ uplift تحت تأثير زيادة ضغط المياه المتواجدة فى المسام pore water pressure .

٣- انهيار المنحدرات slope failure وذلك تحت تأثير زيادة ضغط المياه داخل مسام الطبقات.

٤- هبوط المنشآت تحت تأثير هروب المياه الجوفية من الطبقات الحاملة لها وخفض ضغط المياه داخل مسام الطبقات.

٥- تآكل المنشآت تحت تأثير ارتفاع منسوب المياه الجوفية وتكوين ترسبات ملحية تهاجم الأساسات الخرسانية والحوائط.

٦- حدوث هبوط متفاوت وضغوط عالية على الأساسات نتيجة تسرب المياه الجوفية أو ارتفاع منسوبها فى طبقات الطين الصفحى.

٧- الزحف الجانبى للتربة lateral soil creep فى حالة وجود منحدرات فى التربة وبها نسبة من المياه الجوفية.

أ/٧ توزيع الصخور والتراكيب الجيولوجية الظاهرة على سطح الأرض بجمهورية مصر العربية

يوضح الملحق (ب) توزيع الصخور والتراكيب الجيولوجية بجمهورية مصر العربية بالتفصيل ، كما يبين الملحق (ج) المصادر المختلفة التى يمكن منها الحصول على المعلومات الجيولوجية .

ملحق (ب)

توزيع الصخور والتراكيب الجيولوجية الظاهرة على سطح الأرض بجمهورية مصر العربية

تظهر على سطح الأرض بجمهورية مصر العربية أنواعاً مختلفة من الصخور والتراكيب الجيولوجية [٢٥ ، ٢٦]. وتتبع هذه الصخور الأنواع الثلاثة المعروفة وهى الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة. ويطلق على الصخور النارية والمتحولة صخور القاعدة basement rocks لأنها تكون القاعدة التى يستقر عليها الغطاء الرسوبى . ونظراً لعمليات الرفع والتعرية فقد انكشفت صخور القاعدة على سطح الأرض ببعض المناطق بالجمهورية وهذه المناطق هى:

1- الثلث الجنوبى من شبه جزيرة سيناء.

2- الجبال الواقعة غرب البحر الأحمر ويطلق عليها جبال البحر الأحمر وتمتد من جنوب غرب الزعفرانة حتى الحدود الجنوبية لمصر وتغطى تقريباً مساحة النصف إلى الثلث الشرقى من الصحراء الشرقية.

3 الأجزاء الجنوبية من الصحراء الغربية حيث تظهر الصخور النارية على شكل تلال منفصلة أهمها هو جبل العوينات فى الركن الجنوبى الغربى لمصر.

أما عن باقى مساحة الجمهورية فيغطى سطحها مكاشف للصخور الرسوبية ذات الأعمار والنوعيات المختلفة (أنظر الخريطة الجيولوجية لمصر مقياس ١ : ٢مليون – الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية). وتبلغ المساحة المغطاة بهذه الصخور الرسوبية حوالى ٩٠% من مساحة الجمهورية.

ب/١ شبه جزيرة سيناء:

يغطى الجزء الجنوبى من شبه جزيرة سيناء صخور القاعدة ويغلب عليها الصخور النارية الجرانيتية. أما باقى المساحة فتغطيها صخور رسوبية من أنواع مختلفة. وفى الجزء المتاخم لصخور القاعدة من الشمال يغلب على الصخور الرسوبية التكوين الرملى حتى وسط وشمال سيناء حيث يغلب على الصخور الرسوبية التكوين الجيرى. أما أقصى شمال سيناء فتغطيه الكثبان الرملية التى تمتد لمساحة كبيرة من الشرق إلى الغرب. وتوجد فى بعض المناطق بوسط

غرب سيناء وعلى وجه الخصوص عند وادى غراندل والمنطقة الواقعة شماله (من شرق رأس سدر حتى شرق عيون موسى) مكاشف لصخور المتبخرات وبالذات الجبس.

أما عن التراكيب الجيولوجية المؤثرة فى شبه جزيرة سيناء فنجد أن الجزء الجنوبى الظاهرة به صخور القاعدة يتأثر بعدد هائل من الفوالق والفواصل والشروخ أما الجزء الأوسط لسيناء فهو متأثر بعدد قليل جدا من التراكيب الجيولوجية وتبدو الطبقات الرسوبية فى وضع أفقى فى هذه المناطق. أما فى شمال سيناء فتغلب الطيات الكبيرة مثل طيات جبل المغارة ويلق والحلال وطيات ممر متلا. ويميز المنطقة الواقعة غرب خليج العقبة بجنوب غرب سيناء عدد هائل من الفوالق التى يغلب عليها اتجاه شمال شرق كما يوجد كذلك عدد هائل من الفوالق العادية التى يغلب عليها اتجاه شمال غرب – جنوب شرق بالمناطق المتاخمة لخليج السويس.

ب/ ٢ الصحراء الشرقية:

يغطى الجزء الشرقى من الصحراء الشرقية صخور القاعدة التى تغلب فيها الصخور النارية وبالذات الجرانيتية. ويتاخم هذه الصخور مكاشف للصخور الرسوبية التى تحتوى على صخور رملية فى جنوب الصحراء الشرقية حتى خط عرض مدينة إدفو يليه إلى الشمال مكاشف للصخور الطباشيرية والجيرية (شمال شرق إدفو وشرق قنا) يليها إلى الشمال مكاشف صخور جيرية (من شمال مدينة قنا حتى طريق القاهرة – السويس). أما المنطقة الواقعة شمال طريق القاهرة – السويس فتغطيها صخور مختلفة بعضها جيرية وبعضها رملية أو حصوية أو طينية أو بازلتية. والمنطقة الواقعة شمال خط العرض المار بمدينة الإسماعيلية حتى ساحل البحر المتوسط لا يغطى سطحها أية صخور بل تغطيها تربة سطحية مفككة. أما عن ساحل البحر الأحمر فتوجد به رواسب مفككة فى بعض المناطق وفى بعض المناطق الأخرى توجد بعض صخور المتبخرات وبخاصة الجبس.

وعن أنواع التراكيب الجيولوجية المؤثرة بالصحراء الشرقية نجد أن صخور القاعدة يميزها الفوالق والانفصالات. أما الصخور الرسوبية فتميزها غالبا الفوالق. فالمنطقة الواقعة شرق النيل (شرق بنى سويف إلى شرق سوهاج) تتأثر بالفوالق العادية التى اتجاهها شمال غرب – جنوب شرق. أما المنطقة الواقعة بين طريق القاهرة – الإسماعيلية وخط العرض المار بالعين السخنة فتتأثر بالفوالق العادية التى اتجاهها شرق – غرب وشمال غرب – جنوب شرق . وتكون ميول

الطبقات الرسوبية بالصحراء الشرقية عموما قليلة جداً عدا جبل شبراويت (غرب مدينة فايد) والسفح الشمالى لهضبة الجلالة الجنوبية حيث تكون الصخور مائلة نتيجة للطى.

ب/ ٣ الصحراء الغربية:

تغطى سطح الصحراء الغربية صخور رسوبية غالباً عدا الجزء الجنوبى جدا منها حيث تظهر بعض الصخور النارية الجرانيتية على شكل تلال منعزلة. وتتكون الصخور الرسوبية الظاهرة بالصحراء الغربية من صخور رملية فى الجنوب (حتى خط العرض المار بالواحات الخارجة والداخلة) أما باقى الصخور فيغلب عليها التكوين الجيرى والتى تمتد إلى الجنوب الشرقى من الصحراء الغربية فى هضبة سن الكداب. وتوجد بالصحراء الغربية مناطق واسعة مغطاة بالكثبان الرملية وبخاصة فى جزئيها الشمالى والغربى.

أما عن التراكيب الجيولوجية المؤثرة على الصخورالظاهرة بالصحراء الغربية فهى أقل نسبياً من تلك المؤثرة بالصحراء الشرقية وسيناء. وتكون الصخور الرسوبية فى وضع شبه أفقى تقريبا عدا مناطق قليلة متأثرة بالطى مثل منطقة أبو رواش (جنوب غرب القاهرة) والجزء الشرقى من الواحات الخارجة وبعض المناطق القليلة فى الجزء الأوسط من منخفض الواحات البحرية وبعض المناطق بأقصى جنوب الصحراء الغربية. ويمتد عبر الجزء الجنوبى من الصحراء الغربية حزام من الفوالق التى اتجاهها شرق – غرب وهو يمتد من نهر النيل حتى هضبة الجلف الكبير ويعتبر صدع كلابشة النشط أحد هذه الصدوع.

ب/٤ دلتا النيل ووادى النيل:

لا توجد مكاشف لأية صخور فى دلتا النيل وكذلك فى وادى النيل غالبا بل يغطى تلك المناطق رواسب مفككة أو شبه مفككة تعتبر من الناحية الهندسية نوع من أنواع التربة يغلب عليها التربة التى رسبها النهر خلال فترات الفيضان التى سبقت بناء السد العالى. كما أن هذه المناطق لا تؤثر

بها على السطح تراكيب جيولوجية عدا تلك المؤثرة فى الصخور الرسوبية الواقعة شرق وغرب الوادى.

ب/ ٥ مناطق ذات مشاكل جيولوجية خاصة:

١- منطقة خليج السويس: تتأثر بالفوالق العادية التى تتجه شمال غرب - جنوب شرق.

٢- منطقة خليج العقبة: منطقة تتأثر بعدد كبير من الفوالق النشطة التى اتجاهها شمال - شمال شرق - جنوب - جنوب غرب وهى منطقة نشطة تكتونياً لذا تتأثر بعدد كبير نسبيا من الزلازل.

٣- منطقة أبو رواش: متأثرة بطيات شديدة الميل نسبيا.

٤- أسوان والمنطقة الواقعة حول بحيرة ناصر: يعتقد أن بحيرة ناصر تتسبب فى حدوث بعض الزلازل الناتجة عن تحميل سطح الأرض بالوزن المتزايد للماء أو تغير منسوب الماء فى بحيرة ناصر. ويعتقد أن زلزال عام ١٩٨٠ بمنطقة السد العالى قد يكون لهذا السبب.

٥- جبال شمال سيناء: جبال المغارة وبلج والحلال وعرايف الناقة وخريم والمنشرح وممر متلا وغيرها هى مناطق متأثرة بالطى الشديد للصخور.

٦- مناطق الكثبان الرملية بشمال وغرب الصحراء الغربية: هذه الرمال تتحرك من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى بمعدلات تهدد المنشآت المقامة عليها بالردم بالرمال.

٧ - حافة جبل المقطم: حدثت عدة انهيارات وتآكل للحافة الجنوبية للهضبة العليا لجبل المقطم نتيجة تقاطع فواصل موازية للحافة مع فواصل عمودية عليها مما أدى إلى انفصال كتل صخرية انزلقت تحت تأثير الجاذبية أو ضعف طبقة الطين الواقعة أسفلها. وقد سجل فى بعض المناطق تراجع حافة الهضبة لمسافة تبلغ ٥٥ مترا خلال فترة عشرين عاماً.

٨- نفق الشهيد أحمد حمدى: تم تغيير الموقع المختار مبدئيا لنفق الشهيد أحمد حمدى نتيجة تقاطع المكان المقترح لجسم النفق مع مسار صدع كبير يمتد من منطقة حمام فرعون شرقاً إلى منطقة العين السخنة وهذا الصدع عليه إزاحة كبيرة تصل إلى مئات الأمتار ويسبب صعود المياه

المعدنية الحارة إلى سطح الأرض فى كل من منطقتى حمام فرعون والعين السخنة.

٩- مدينة المنيا الجديدة: ظهرت فى طبقات التأسيس لمدينة المنيا الجديدة مجموعة من الكهـوف الناتجة عن ذوبان صخور الحجر الجيرى الطباشيرى على أعماق ضحلة تصل الى ١٠ أمتار ، ووجد أن معظم هذه الكهوف تأخذ اتجاهات الفواصل والصدوع المؤثرة فى هذه المنطقة.

ملحق (ج)

مصادر المعلومات الجيولوجية والطبوغرافية لجمهورية مصر العربية

ج / ١ الخرائط الجيولوجية:

تغطى كافة أنحاء جمهورية مصر العربية خرائط جيولوجية بمقاييس رسم مختلفة تبدأ من مقياس رسم اقليمى مثل ١: ٢ مليون وتتدرج إلى مقاييس أكثر تفصيلا حتى مقياس ١ : ٥٠٠٠ فى بعض الأحيان لبعض المناطق. ومن أهم الجهات التى تقوم باعداد هذه الخرائط واتاحتها للاستخدام العام الجهات التالية:

- الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية: حيث يوجد لديها خرائط جيولوجية ذات مقاييس الرسم التالية:

مقياس ١ : ٢ مليون : خريطة جيولوجية شاملة لجمهورية مصر العربية.

مقياس ١ : ٥٠٠٠٠٠ : خرائط جيولوجية لأماكن متفرقة من الجمهورية.

مقياس ١ : ٢٥٠٠٠٠ : خرائط جيولوجية لأماكن متفرقة من الجمهورية.

مقياس ١ : ١٠٠٠٠٠ : خرائط جيولوجية لأماكن متفرقة من الجمهورية.

مقاييس أكثر تفصيلا: : خرائط جيولوجية لأماكن قليلة متفرقة من الجمهورية.

ومما هو جدير بالذكر أنه يمكن تكليف الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية بعمل خرائط جيولوجية لأى منطقة بأى مقياس رسم مناسب.

- الهيئة المصرية العامة للبترول: ويوجد لديها خرائط جيولوجية تغطى جميع أنحاء الجمهورية بمقياس رسم واحد هو ١ : ٥٠٠٠٠٠ ويطلق عليها خرائط شركة كونوكو.

- الجامعات المصرية: تقوم الجامعات المصرية بإجراء دراسات جيولوجية تغطى مناطق متفرقة بالجمهورية على شكل رسائل للماجستير والدكتوراه أو على شكل أبحاث منفصلة لأعضاء هيئة

التدريس بها. وتحتوى بعض هذه الرسائل والأبحاث على خرائط جيولوجية لمناطق الدراسة بمقاييس رسم مختلفة مثل ١ : ١٠٠٠٠٠ ، ١ : ٥٠٠٠٠ ، ١ : ٢٥٠٠٠ ، أو حتى مقياس ١ : ٥٠٠٠ فى بعض الأحيان. ويجب التفرقة هنا بين نوعين من الخرائط فى هذا النوع من الدراسات وهما الخريطة الجيولوجية والخريطة الفوتوجيولوجية. فالنوع الأول هو المهم للدراسات الهندسية أما النوع الثانى فتكون درجة دقته أقل وذلك لاحتمال وجود أخطاء بالخريطة نظراً لعدم التحقق من هذه الخرائط بالحقل حيث أنه تم إعدادها باستخدام الصور الجوية فقط. ومما هو جدير بالذكر أن الجامعات المصرية تضم العديد من الباحثين المشهود لهم بدقة خرائطهم الجيولوجية ويستشار فى ذلك أحد الجيولوجيين القدامى لمعرفة تلك الخرائط وأسماء الباحثين الذين قاموا بإعدادها.

ج / ٢ الخرائط الطبوغرافية:

تغطى سطح الجمهورية خرائط طبوغرافية كنتورية ذات مقاييس رسم مختلفة مثل ١ : مليون ، ١ : ٥٠٠٠٠٠ ، ١ : ٢٥٠٠٠٠ ، ١ : ١٠٠٠٠٠ ، ١ : ٥٠٠٠٠ ، ١ : ٢٥٠٠٠ ، ١ : ٥٠٠٠ ومصدر هذه الخرائط فى الجمهورية جهتان وحيدتان هما:

- هيئة المساحة المصرية: وهى المصدر الرئيسى لجميع الخرائط الطبوغرافية وتوجد لديها خرائط بجميع المقاييس سالفة الذكر أو أكثر تفصيلاً فى بعض الأحيان لبعض المناطق. ومن أمثلة الخرائط الطبوغرافية المتاحة بتلك الجهة خرائط المشروع الفنلندى وتغطى كل مناطق الصحراء الشرقية بمقياس رسم ١ : ٥٠٠٠٠ وخرائط المشروع الفرنسى وتغطى القاهرة الكبرى كلها بمقياس رسم ١ : ٥٠٠٠.

- إدارة المساحة العسكرية: وهى مصدر آخر للخرائط الطبوغرافية. ومن أهم الخرائط المتوافرة لديها خرائط طبوغرافية بمقاييس رسم ١ : ١٠٠٠٠٠ ، ١ : ٥٠٠٠٠ لسيناء والصحراء الشرقية وبعض الأجزاء من الصحراء الغربية.

ج / ٣ الصور الجوية وصور الأقمار الصناعية:

- الصور الجوية [٢٣]: تغطى سطح الجمهورية صور جوية تم تصويرها من الجو بواسطة الطائرات. وتعتبر الصور الجوية من الأهمية بدرجة كبيرة حيث أنها توضح توزيع الصخور والتراكيب الجيولوجية على سطح الأرض وكذلك توضح طوبوغرافية سطح الأرض كما أنها تمتاز بإمكانية رؤيتها رؤية مجسمة بأجهزة خاصة. ولذلك تعتبر الصور الجوية ذات أهمية كبيرة فى التخطيط العمرانى وتخطيط المشاريع الهندسية الكبرى فتفيد فى عمل الدراسات المبدئية لاختيار أنسب الأماكن لمواقع المشروعات الهندسية الضخمة. والجهة الوحيدة المسئولة عن توفير هذه الصور بالجمهورية هى إدارة المساحة العسكرية حيث توفر هذه الصور بمقاييس رسم مختلفة مثل ١ : ٥٠٠٠٠ ، ١ : ٤٠٠٠٠ ، ١ : ٣٠٠٠٠ ، ١ : ٢٠٠٠٠ ، ١ : ١٠٠٠٠ كما يمكن كذلك طلب هذه الصور بأى مقياس رسم أكثر تفصيلا. ويوجد كذلك خرائط جوية مجمعة من تلك الصور وتسمى الموزايكات وهى ذات مقاييس رسم أصغر مثل ١ : ١٠٠٠٠ ، ١ : ٥٠٠٠ . ومما هو جدير بالذكر أنه يمكن طلب تصوير أى منطقة من الجو من خلال إدارة المساحة العسكرية عند الرغبة فى معرفة الشكل الحالى لمنطقة ما والتغيرات التى طرأت على تلك المنطقة منذ أن تم تصويرها فى وقت سابق. وفى تلك الحالات ستكون الصور أكثر تكلفة بالطبع مقارنة بأسعار الصور الجوية المتوفرة حاليا.

- صور الأقمار الصناعية [٢٤]: تجوب الفضاء الخارجى المتاخم للكرة الأرضية عدة أقمار صناعية تقوم بتصوير سطح الأرض من ارتفاعات شاهقة. ومن أهم تلك الأقمار أقمار لاندسات Landsat الأمريكية وأقمار سبوت Spot الفرنسية وغيرها. وتبلغ دقة وضوح صور (مرئيات) هذه الأقمار عدة أمتار فى بعض الأحيان. وتتوافر تلك الصور بمقاييس رسم مختلفة أكثرها شيوعا هو ١ : مليون ، ١ : ٥٠٠٠٠٠ ، ١ : ٢٥٠٠٠٠. وتتميز هذه الصور الفضائية بتغطيتها لمساحات ضخمة مما يكون له أهمية كبيرة فى المشاريع الهندسية الضخمة مثل اختيار أنسب الأماكن لمشروع ما بعيداً عن مسارات الكثبان الرملية المتحركة أو بعيداً عن مخرات

السيول وما شابه ذلك. وتقوم الأقمار الصناعية بتصوير سطح الأرض بشكل متتالى فمثلاً يتم قمر لاندسات الأمريكى تغطية سطح الأرض كاملا كل ١٨ يوماً أى أن أى مكان على سطح الأرض يتكرر تصويره كل ١٨ يوم ولذا تكون لهذه الصور فائدة كبيرة فى ملاحظة التغيرات الجيولوجية لسطح الأرض على مر الزمن مثل تحرك الكثبان الرملية أو نحر الشواطئ وخلافه. كما تتميز صور الأقمار الصناعية بإمكان توظيفها لأغراض معينة حيث أن معلومات تلك الصور يتم جمعها بصورة رقمية Digital مما يتيح معالجتها بكل طريقة مناسبة لأهداف معينة مثل تحديد توزيع الطفلة على سطح الأرض وإظهارها على الصورة الفضائية بلون معين أو تحديد أماكن الحجر الجيرى المنكشف على سطح الأرض والمتأثر بالتكهف... الخ.

وتقوم الهيئة القومية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء بتوفير هذه الصور (المرئيات) الفضائية لكل مناطق الجمهورية وكذلك تقوم بعمل الدراسات الأخرى المناسبة على هذه الصور لأية أغراض هندسية مطلوبة.

ج / ٤ التقارير والأبحاث والدوريات العلمية والرسائل المنشورة:

تحتوى التقارير والأبحاث والدوريات العلمية الجيولوجية المحلية على العديد من المعلومات الجيولوجية ذات الفائدة فى النواحى الهندسية مثل الخرائط الجيولوجية للمناطق ، أنواع الصخور الظاهرة على سطح الأرض بتلك المناطق وتحاليل هذه الصخور والتراكيب الجيولوجية المؤثرة بها .... الخ. ومن أهم مصادر هذه المعلومات ما يلى:

١- حوليات ودراسات الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية وتباع فى مقر الهيئة نفسيا بأسعار رمزية.

٢- مجلة الجمعية الجيولوجية المصرية ويصدر منها عددان سنوياً وتتوافر بمقر الجمعية وكذلك فى مقر الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية أو فى مكتبات الجيولوجيا بالجامعات المصرية.

٣- مجلات كليات العلوم بالجامعات المصرية ويمكن الحصول عليها من كلية العلوم بكل جامعة على حدة.

٤- رسائل الماجستير والدكتوراه فى مجالات الجيولوجيا المختلفة من الجامعات المصرية ويمكن الحصول عليها من كل جامعة على حدة أو من المكتبة القومية للرسائل داخل المكتبة المركزية لجامعة عين شمس حيث تتولى هذه المكتبة تصوير جميع الرسائل العلمية من كل الجامعات المصرية على ميكروفيلم.

٥- مجلة مركز بحوث الشرق الأوسط MERC سلسلة علوم الأرض Earth Science Series ويمكن الحصول عليها من مركز بحوث الشرق الأوسط بجامعة عين شمس أو من قسم الجيولوجيا بكلية العلوم - جامعة عين شمس بالعباسية.

وفيما يلي معلومات الاتصال الخاصة بالجهات المذكورة:

أ- الهيئة المصرية العامة للمساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية

٣ شارع صلاح سالم بالعباسية - القاهرة.

فاكس: ٦٨٣٢٢٥٢ ، ٤٨٢٠١٢٨ تليفون: ٦٨٥٢٩١٤ ، ٤٨٢٩٩٣٥

ب- الهيئة القومية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء

٢٣ شارع جوزيف بروز تيتو - النزهة الجديدة - القاهرة

ص.ب ١٥٦٤ - ألف مسكن - القاهرة

فاكس: ٢٩٦٤٣٨٥ تليفون: ٢٩٦٤٣٨٦ ، ٢٩٦٤٣٨٧

ج- الهيئة المصرية العامة للبترول

شارع فلسطين - الشطر الرابع - المعادى الجديدة - القاهرة

ص.ب ٢١٣٠ - القاهرة - الرمز البريدى ١١٧٤٢ - المعادى الجديدة

فاكس : ٧٠٢١٤٥٧ تليفون: ٧٠٢١٤٣٨

د- هيئة المساحة المصرية

بجوار حديقة الأورمان - الجيزة.

هـ- إدارة المساحة العسكرية

شارع الخليفة المأمون - بجوار جامعة عين شمس - القاهرة

و- مركز بحوث الشرق الأوسط

جامعة عين شمس - العباسية - القاهرة

المراجع:

[1] ASCE (1996), Technical Engineering and Design Guides as adapted from the US Army Corps of Engineers, No. 16, Rock Foundations.
[2] Attewell, P.B.& Farmer, L. W, (1976), Principles of Engineering Geology, John Wiley & Sons Inc., New York .
[3] Bell, F.G. (ed.) (1992), Engineering in Rock Masses. Butterworth Heinemann, Oxford, OX2 8DP, p.p. 54 –77 & 158.
[4] Best, M.G., (1982), Igneous and Metamorphic Petrology: W.H. Freeman and Co., San Francisco, 630 p.
[5] Billings, M.P., (1986), Structural Geology, 3rd edition: Prentice-Hall, New Jersey, 606 p.
[6] Blatt, H., Middleton, G., and Murray, R., (1972), Origin of Sedimentary Rocks: Prentice-Hall, New Jersey, 634 p.
[7] British Standard Institute (BS, 1981), Code of Practice for Site Investigations (BS 5930 : 1981), BS. pp 111 – 120 .
[8] BS 8081 (1989), British Standard Code of Practice for Ground Anchorages.
[9]Canadian Geotechnical Society (1992), Canadian Foundation Engineering Manual - 3 rd edition.
[10] Das, B. M. (1990), Principles of Geotechnical Engineering – 2nd ed., PWS – Kent pub. Co.
[11] Deere, D.U. et al. (1967), Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock, Proceedings of the English Symposium on Rock Mechanics (ed. Fairhurst, C.), American Institute of Mining, Metarallurgical and Petroleum Engineers, pp 237-302.
[12] DIN 4125 (1990), Deutesche Norm: Ground Anchorages.
[13] Evert Hoek, Rock Engineering , Course Notes, (Internet).
[14] Franklin, J. A. & Dusseault, M. B, (1989), Rock Engineering, McGraw – Hill Inc., New York .
[15] Goodman, R.E. and Shi, G. (1985) Block Theory and its Application to Rock Engineering, Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
[16] Hoek, E.& Brown, E.T, (1996), Underground Excavation in Rock, Institute of Mining and Metallurgy, E. & F.N. Spon pub., London, p.p 14 – 37 .
[17] ISRM, International Society of Rock Mechanics (1981), Brown, E. T. (ed.), Rock Characterization Testing and Monitoring : ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, London, England .

[18] Klein, C. and Hurlbut, C.S., Jr., (1993), Manual of Mineralogy (after Dana, J.D.), 21st edition: John Wiley and Sons, New York, 681 p.
[19] Landslides, Analysis and Control, Special Report 176, National Academy of Science, (1978).
[20] Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H. (1974), Foundation Engineering, 2nd ed., Wiley and Sons, N.Y.
[21] Pells, P. J.N. and Turner, R.M. (1979), Elastic Solutions for Design and Analysis of Rock Socketed Piles, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16, No. 3, pp. 481-487.
[22] Reese, L. C. and O' Neill, M.W. (1988), Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods, U.S.D.O.T, F.H.W.A and the International Association of Foundation Drilling, Dallas, Texas, U.S.A.
[23] Sabet, A.H., 1969, Basis of Application of Aerial Photographs in Geology, Egypt: Geological Survey of Egypt, paper no. 48, 76 p.
[24] Sabins, F.F., Jr. 1978, Remote Sensing Applications and Interpretation: Freeman, W.H. and Co., San Francisco, 426 p
[25] Said, R., 1962, The Geology of Egypt, Elsevier Pub. Co., 377 p.
[26] Said, R. (editor), 1990, The Geology of Egypt: Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands, 734 p.
[27] Sowers, G.F. (1979), Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, 4th ed., McMillan, N.Y.
[28] Tomlinson, M.J. (1994), Pile Design and Construction Practice - 4th edition, E & FN SPON, LONDON.
[29] Technical Engineering and Design Guides as Adapted from the US Army Corps of Engineers No. 16, Rock Foundations, (1996).

[٣٠] الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات – كود رقم (٢٠٠١/٤) ، الجزء الرابع : الأساسات العميقة، قرار وزاري رقم ١٣٩ لسنة ٢٠٠١.
[٣١] محمد عز الدين حلمي ، ١٩٩٤ ، علم المعادن ، مكتبة الأنجلو المصرية ، القاهرة، ٤٨٦ صفحة.
[٣٢] ويليامز ، هـ ، تيرنر ، ف ، جيلبرت ، ت ، ١٩٥٤، علم الصخور ، ترجمة سلامة طوسون ، اميل زغلول بسطا ، محمد كمال العقاد عام ١٩٧١، دار المعرفة ، القاهرة، صفحة ٥٠٢.