الفصل الحادى عشر

الانزلاقات الأرضية واتزان المنحدرات

يطلق لفظ الانزلاقات الأرضية فى الجيولوجيا الهندسية على انهيال الكتل الصخرية المكونة للمنحدرات كما يطلق لفظ الإزاحات الصخرية على التغيرات التى تطرأ على جزء مًا بالقشرة الأرضية نتيجة لتأثير عدد من القوى أو الضغوط ونتيجة لعوامل أخرى طبيعية مثل التآكل والنحر والبراكين والزلازل والحركات الأرضية.

ويلاحظ أن هاتين الظاهرتين تحدثان نتيجة لاستخدام الإنسان للأنواع المختلفة من التفجيرات التقليدية والنووية، وكذلك لعمليات الإنشاء التى تجرى على سطح الأرض أو خلالها مما يسبب حالة عدم اتزان للطبقات الصخرية ويؤدى بالتبعية إلى حدوث الانهيال أو الإزاحة حتى تعود الصخور إلى حالة جديدة من حالات الاتزان.

ونظرًا للأثر الكبير الذى يحدثه الإخلال باتزان القشرة الأرضية على المنشآت المدنية والصناعية والعسكرية المقامة على السطح أو تحت سطح الأرض، فإن المهندسين والجيولوجيين يهتمون بدراسة هاتين الظاهرتين ومحاولة إيجاد الوسائل التى تمنع حدوثها أو تقلل من أخطارهما. ونشأ بذلك ما يعرف بدراسة اتزان المنحدرات والترييح وهبوط المنشآت.

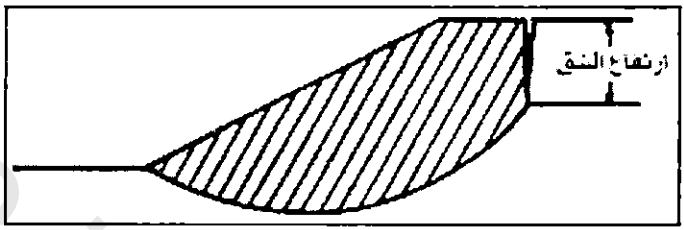
أولاً : الانزلاقات الأرضية

يحدث الانهيال بالقشرة الأرضية المكونة للمنحدرات بغض النظر عن نوع التربة أو الصخور المكونة للمنحدر متى توافرت العوامل التى تؤدى لذلك وفيه ينفصل جزء كبير من التربة أو الصخور يعرف بالخابور المنفصل ويتحرك إلى أسفل أو بعيدًا عن جسم المنحدر. وقد يحدث انهيال الصخور فجأة وبدون مقدمات وقد يتم على فترات طويلة وبمعدلات تكاد تكون ثابتة. وتعزى الانهيالات إلى عدة أسباب منها:

١ - قوى الجاذبية:

تعتبر قوى الجاذبية من أهم الأسباب المؤدية لحدوث الانهيال حيث يكون وزن الكتلة المنفصلة (الخور المنفصل) هو السبب الأول فى حدوث الحركة، وكلما زاد الوزن قلت فرص تحقيق اتزان المنحدر. ويمثل شكل (١١٣) بداية انفصال لكتلة من الصخور المكونة للمنحدر عند إحدى نقاط الضعف الموجودة مثل الشقوق الناتجة عن إجهادات الشد - ويلاحظ أن الحركة

تكون فى بدايتها بطيئة على سطح الانزلاق ثم يحدث انفصال الخابور فجأة وبسرعة كبيرة عندما يمكن لمركبة قوى الجاذبية التغلب على القوى الأخرى التى تعمل على إعاقة حركة الكتلة الأرضية مثل القوى الناشئة عن الاحتكاك وقوة تماسك الكتلة المتحركة ذاتها مع باقى جسم المنحدر.



شكل رقم (١١٣): شرخ شدى فى الكتلة المنزلقة.

٢ - الرطوبة:

تتسبب المياه الزائدة والرطوبة فى تقليل قوة احتمال المواد الأرضية لإجهاد القص بل وقد تساعد على تحول هذه المواد وخاصة فى حالة التربة إلى مزيج ليس له قوة احتمال مما يؤدى إلى حالة الإخلال باتزان المنحدر وانهياله كما فى شكل (١١٤).

شكل رقم (١١٤): ظاهرة الانسياب فى الصخور.

٣ - العوامل الصناعية:

وهى التى تنجم عن فعل الإنسان مثل قوى التفجير التقليدى أو النووى والتى قد تؤدى إلى انهيال المنحدر بأكمله أو جزء منه. وفى كثير من الأحيان تؤدى هذه القوى إلى خلق مستويات ضعف كالشقوق والفواصل فى المناطق المنحدرة التى تقع فى دائرة تأثيرها تسبب بدورها ظروفًا تساعد على حدوث الانهيال.

٤ - وجود التراكيب الصخرية المناسبة:

من العوامل التى تساعد على حدوث الانهيال وجود المناخ الصخرى المناسب فى الصخور المكونة للمنحدر مثل:

١ – الفواصل المائلة وسريان المياه الأرضية خلالها.

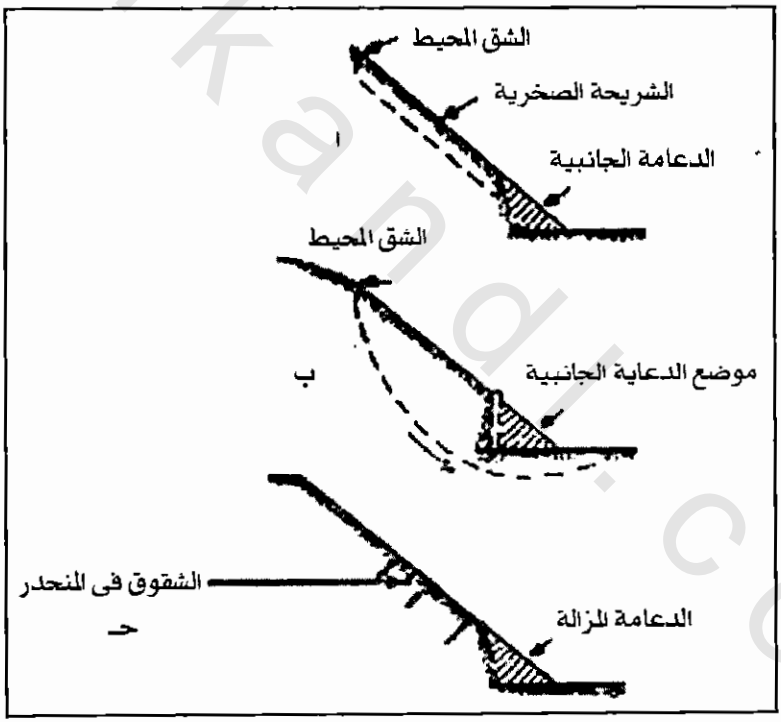
٢ – سطوح لتصدع ومناطق القص.

٣ – الطبقات الضعيفة والانسيابية.

٤ – الصخور القابلة للتحلل والتفتت مثل البازلت والحجر الطينى.

٥ – الحفر عند قاع المنحدر.

من الأسباب الشائعة أيضًا لانهيال المنحدرات إزاحة المواد عند قاع المنحدر لتنفيذ بعض المنشآت مما يؤدى إلى زيادة إجهاد القص فى الجزء غير المدعم من المنحدر، ثم إلى انزلاق الكتلة الصخرية كما فى شكل (١١٥).



شكل رقم (١١٥): الإزاحات نتيجة إزالة الدعائم الساندة.

(أ) انهيال انتقالى.

(ب) انهيال دورانى.

(جـ) انهيال بسبب وجود شقوق.

ويمكن تقسيم الانهيالات الأرضية طبقًا لميكانيكية حدوثها إلى الأقسام التالية:

(أ) الانهيال الزحفى:

يعتبر هذا النوع من الانـهيال ظـاهرة سـطحية تحـدث كثـيرًا فـى منحـدرات التربـة والصخـور المهشمة حيث يتعرض كل منحدر لقوى طبيعية تحاول دائمًا تسطيحه أو الإقـلال مـن زاويـة ميـل المنحدر عن طريق تحريك مكوناته أو جزء منها إلى أسفل أو إلى خارج سطح المنحدر وتحـدث هـذه الحركة على مدى طويل وبمعدلات تكاد تكون ثابتة. وتعزى إلى خاصية تعرف بخاصية الزحف.

وتعرف خاصية الزحف بأنها الحركة البطيئة للطبقة العليا من التربـة، أو التربـة والصخـور المحيطـة، أو الصخـور العلويـة بالنسـبة للطبقـات السـفلى، والتـى تحـدث دون تأثـير لقـوى خارجية، ومن المعروف أن الصلصال خلال اختبارات القص يبدأ فى الحركة على طول مسـتوى القص عندما تساوى قيمة إجهاد القص المتولد على هذا المستوى جزءًا محـدودًا مـن قـوة تحمـل الصلصال للقص. ويمكن بنفس الطريقة أن تزحف طبقـة مـن الصلصـال المتجـانس تحـت تأثـير إجهاد القص الذى يمكن أن يتغلب على جزء محدود من قوة القص. ويعرف هـذا الجـزء باسـم القوة الأساسية أو قوة الزحف.

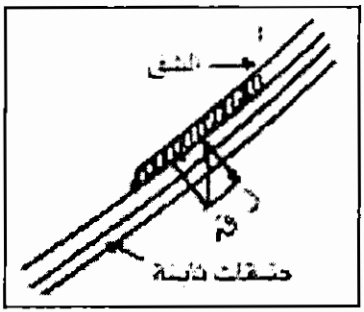
ولما كانت بعض الانهيـالات تحدث بطريقة مشـابهة لزحف الصخور لذلك يمكن القول بـأن الزحف فى الصخور غير المتجانسة يميل إلى فصل الطبقات إذا كانت قوة الترابط بينهما أضعف من القوة الأساسية لإحداهما. وكذلك يحدث الزحف فى المناطق متوسطة الانحدار عندمـا تكـون المنطقة الأرضية واقعة تحت تأثير قوى خارجية. ويحدث الزحف فـى الاتجـاه العمـودى لخـط تأثير محصلة هذه القوى.

(ب) الانهيال الانزلاقى:

يطلق هذا التعبير على التحرك المفاجئ لكتلة كبيرة متماسكة بين جسم المنحدر قـد تمتـد إلى عمق كبير إلى أسفل أو إلى خارج سطح المنحدر. ويمكن تقسـيم هـذا النـوع إلى قسـمين رئيسـيين طبقًا لنوع الحركة والقوى المحدثة لها:

١ - الانهيال الانتقالى:

يمتاز هذا النوع بحركة الخابور الصخرى الانتقالية على أحد مستويات الضعف الطبيعية كما يحدث فى حالة التربة المتماسكة والصخور الطبقية إذا تحرك جزء من الطبقة العليا فـى اتجـاه ميل الطبقة السفلى على مستوى التطابق والذى يطلق عليه عندئذ مستوى الانزلاق. كما هو مبين فى شكلى (١١٣)، (١١٦) وترتبط الكتلة المنزلقة بالكتلة الثابتة بقوة ترابط تقوى إلى قوة تحمـل المادة اللاحمة لإجهاد القص وقوة تماسكها مع الصخر المكـون للمنحـدر. ومـن الأمثلـة الشـهيرة لهذا النوع انهيال الشرائح الصخرية وفيه يكون سطح الانزلاق أفقيًا تقريبًا أو قليل الميل.

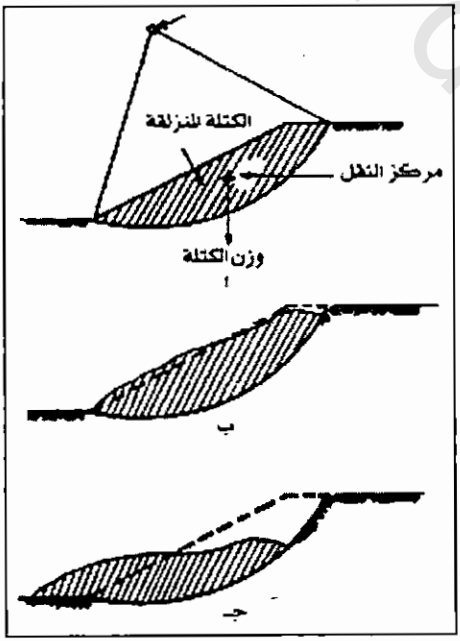


شكل رقم (١١٦): انهيار طبقات الصخور الرسوبية.

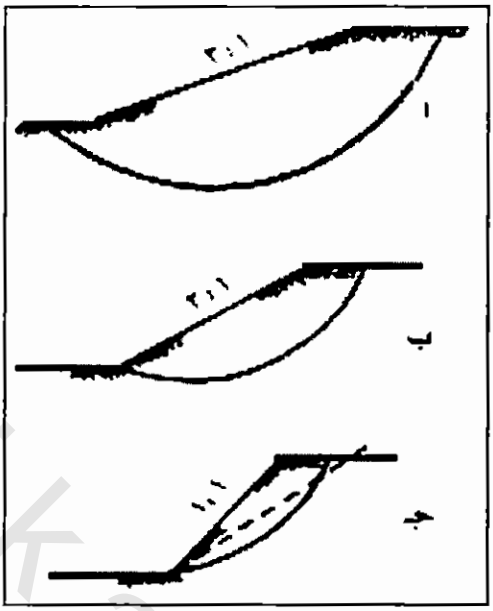
٢ - الانهيال الدورانى:

وفيه يتحرك جزء من المنحدر على سطح يعرف بسطح الانزلاق. ويحدث هذا النوع عادة فى المنحدرات ذات المواد المتجانسة نسبيًا والمتماسكة. وينشأ عادة عن إجهادات القص، ولحدوث الانهيال الدورانى يجب أن تكون محصلة القوى المسببة للحركة أكبر من قوة تحمل المواد لإجهاد القص على مستوى الانزلاق وكذلك القوة الناجمة عن الاحتكاك والمقاومة للحركة.

ويأخذ سطح الانزلاق فى هذه الحالة الشكل الأسطوانى - الدائرى أو الشكل الدائرى ولذلك تنتج حركة دورانية تنخع الكتلة الصخرية وتحركها على مستوى الانزلاق إلى أسفل أو إلى خارجه. ويوضح شكل (١١٧) الانزلاق الدورانى، ويوضح الشكل (١١٨) طبيعة سطوح الانزلاق للمنحدرات المختلفة الميل.



شكل رقم (١١٧): مراحل الانزلاق الدورانى.
(أ) قطاع فى الكتلة المنزلقة.
(ب) بداية الانزلاق.
(جـ) الوضع النهائى بعد الانزلاق.



شكل رقم (١١٨): سطوح الانزلاق للانحدارات المختلفة.

الوقاية من الانزلاقات الأرضية:

من الصعب التنبؤ بحدوث الانهيال ما لم تتوافر المعلومات المحددة والواضحة للحركة النسبية أو الأفقية للمنحدرات. ويجب فى حالة احتمال وقوع الانهيال دراسة كيفية تأثير قوى الجاذبية والمياه الأرضية على حركة المواد المكونة للمنحدر ومدى علاقة كل منها بمقدار واتجاه الحركة.

كذلك يجب دراسة التكوينات الجيولوجية وأثر مستويات التطابق والتورق والتشقق أو الفواصل أو مستويات التصدع على احتمال حدوث الانهيال.

وبناء على الدراسات المختلفة التى أجريت على اتزان المنحدرات والخبرات المكتسبة فى معالجة الانهيالات الأرضية، يمكن تلخيص الاتجاهات الهندسية فى الوقاية من الانهيالات فيما بعد:

١ - إنشاء الحوائط الساندة من الخرسانة المسلحة.

٢ - اختبار زاوية ميل سطح المنحدر على أسس تجمع بين المتطلبات الاقتصادية والأمان.

٣ - إيجاد وسائل الصرف المناسبة عند وجود المياه الأرضية.

٤ - الاستعانة بالزراعة والتشجير لتثبيت المنحدرات.

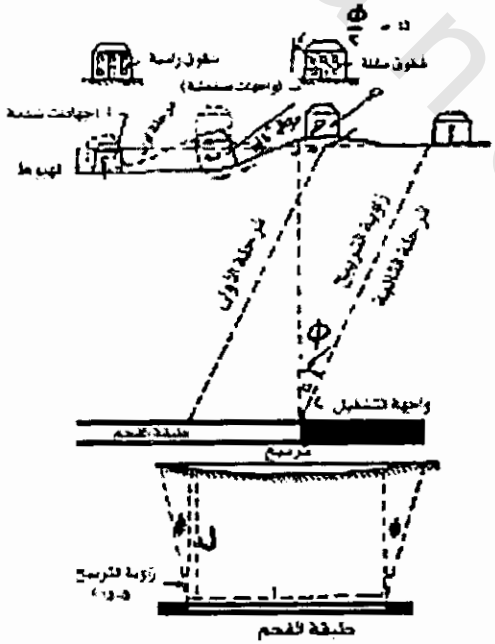
٥ – استخدام مسامير الصلب لتثبيت الصخور الطبقية وما شابهها وذلك عن طريق زيادة قوة الاحتكاك المضادة للحركة.

ثانيًا : الترييح فى المنشآت

يعرف الترييح بأنه الحركة الرأسية والأفقية لسطح الأرض والتى تنشأ نتيجة للإخلال بحالة الاتزان الاستاتيكى للطبقات الصخرية. وتحدث ظاهرة الترييح تدريجيًا وقد يكون حدوثها لحظيًا ومفاجئًا. وتعزى ظاهرة الترييح إلى عدة أسباب أهمها:

١ – ينشأ الترييح نتيجة لعمليات التعدين والإنشاء وخاصة تلك التى يتم فيها إزاحة جزء من مكونات القشرة الأرضية سواء كان صلبًا كطبقات الفحم والفوسفات والخامات المعدنية. أم سائلا كالبترول والمياه الأرضية، وكذلك عمليات إنشاء الأنفاق والمنشآت تحت السطحية التى تحتاج إلى إزالة كميات كبيرة من الصخور.

ويتوقف مقدار الترييح على عمق عملية التعدين أو الإنشاء ومقدارها وامتدادها وكذلك على الخواص المرنة – اللزجة، واللدنة – اللزجة للصخور المكونة للغطاء الصخرى ويفسر المهتمون بدراسة ظاهرة التربيح إزاحة جزء من مكونات القشرة الأرضية سواء كان بغرض تعدينى أم بهدف إنشائى بأنه إخلال بحالة الاتزان الاستاتيكى يتوقف مدى تأثيرها فى مكونات القشرة المحيطة بمكان الحفر أو الإنشاء على عدة عوامل ولما كانت القوانين الطبيعية تقضى بأن جميع الأجسام تميل إلى الوصول إلى حالة الاتزان لهذا تبدأ التربة والصخور التى تأثرت بحالة الإخلال فى الحركة للوصول إلى حالة اتزان أخرى تناسب التوزيع الجديد للإجهادات. وقد يقتصر تأثير هذه الحركة حول منطقة الاستخراج أو الإنشاء، وقد يصل أثره إلى سطح الأرض ويمكن قياسه عن طريق الميزانيات الدقيقة ومن هنا أيضًا يظهر أثر ذلك

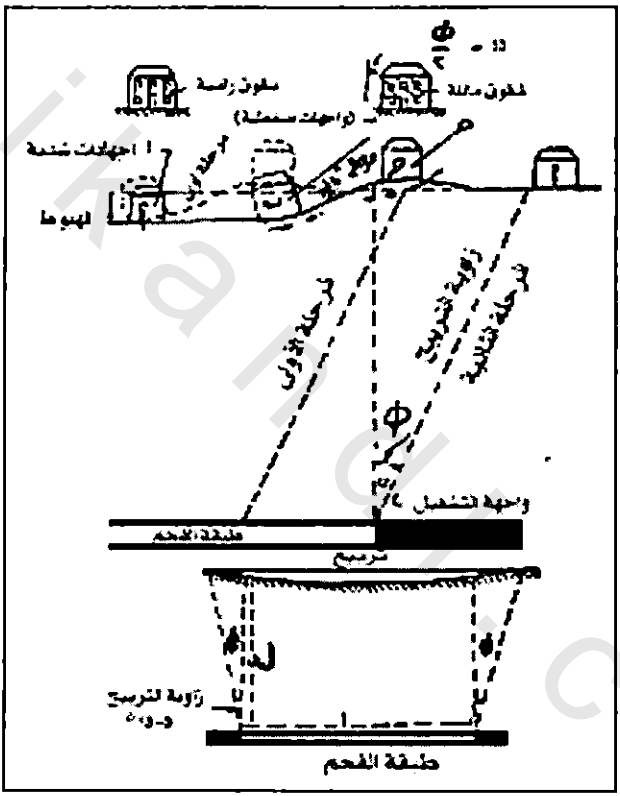


شكل رقم (١١٩): الهبوط نتيجة المنشآت تحت السطحية بالمناجم عند بداية الترييح.

على المنشآت السطحية وأساساتها. ويوضح الشكل (١١٩، ١٢٠) مدى تأثير المنشآت السطحية.

٢ - عمليات خفض منسوب المياه الأرضية وما شابهها.

قد يحدث الترييح نتيجة لعمليات ضخ المياه الأرضية أو استخراج البترول والغازات الطبيعية ويشمل مساحة واسعة من الأرض. ويمكن شرح ميكانيكية الترييح الناشئ عن عمليات ضخ المياه الموجودة بطبقة من الحجر الرملى المسامى بأن تأثير الطفو علـى حبيبـات الرمـل يـزول ويـزداد تبعًا لذلك مقدار الضغط الواقع على الطبقات، أى إن الضغط المؤثـر يـزداد مقداره ممـا يـؤدى إلى تماسك الحبيبات وتنشأ لذلك حركة تدريجية إلى أسفل.



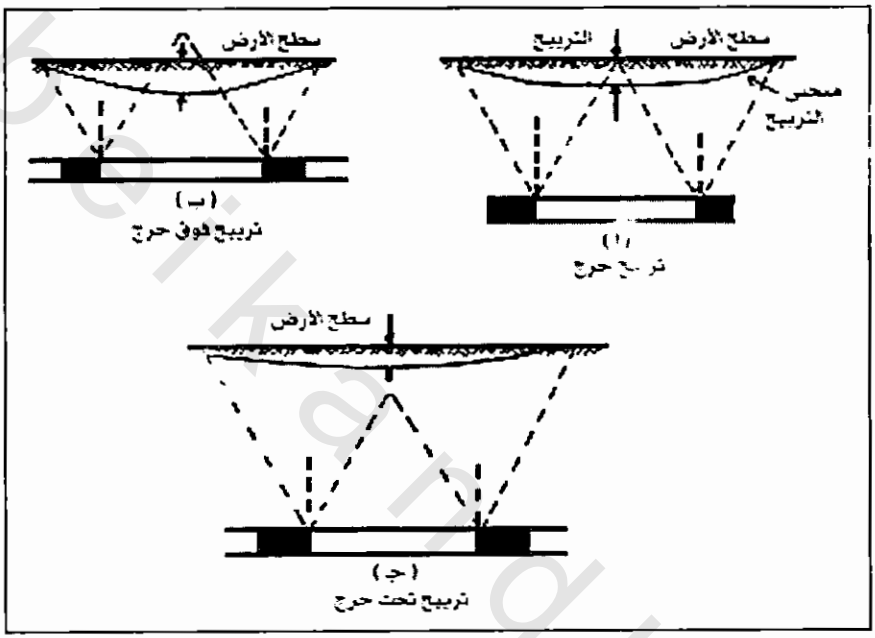
شكل رقم (١٢٠): الهبوط نتيجة المنشآت تحت السطحية بالمناجم بعد نهاية الترييح.

ومن الأمثلة الشهيرة للترييح نتيجة لرفع الميـاه الأرضيـة مـا حـدث فـى وادى سـانتا كـلارا بولاية كاليفورنيا. فقد بدئ فى سنة ١٩٢٠ رفع المياه الأرضية من عمق عـدة مئـات مـن الأمتـار لأغراض الرى. وصل مقدار الترييح خلال المدة حتى ١٩٣٢ ١,٣ متر وبلغت ١,٩ متر بعـد ذلـك وكانت المساحة المتأثرة بالترييح ٢٠٠ متر مربع.

العلاقة بين التربيح وعمق الفتحات تحت الأرضية:

يصنف التربيح إلى:

١ - تربيح حرج (شكل ١٢١ أ) وفيه يتقابل الشعاعان المرسومان من نـهايتى مقطـع الفتحـة بزاوية مقدارها (س) عن الرأسى عند سطح الأرض أى أن:



شكل رقم (١٢١): العلاقة بين عمق الفتحات تحت الأرضية ونوع التربيح

$$\text{ظا س} = \frac{\text{نق}}{\text{ع}}$$

حيث س = هى زاوية الاحتكاك الداخلى للصخور المحيطة بفتحة النفق

نق = نصف قطر النفق

ع = عمق الغطاء

٢ - تربيح فوق حرج (شكل ١٢١ ب) وفيه يتقابل الشعاعان المرسومان من نـهايتى مقطـع الفتحة بزاوية مقدارها (س) عن الرأسى فوق سطح الأرض.

٣ - تربيح تحت حرج (شكل ١٢١ جـ) وفيه يتقابل الشعاعان المرسومان من نـهايتى مقطـع الفتحة بزاوية مقدارها (س) عـن الرأسـى تحـت سـطح الأرض وتكـون حركـة الصخـور نتيجـة

التربيح تحت الحرج هى أقلها بينما فى حالة التربيح فوق الحرج تكون حركة الصخور أكبر ما يمكن. ويلاحظ أن عمل الفتحات على الأعماق الصغيرة من السطح تسبب وجود تربيح حرج بينما فتحات الأعماق المتوسطة يكون التربيح الناتج عنها فوق حرج وبزيادة العمق ينتج التربيح تحت الحرج.

الوقاية من آثار التربيح:

تعتبر وقاية المنشآت السطحية فى مناطق التربيح عملية غير اقتصادية بجانب أنها غير عملية، لكن إذا أحسن التخطيط واختيار الموقع يمكن تفادى بعض العقبات الخطيرة.

ولضمان وقاية المنشآت الخرسانية يجب أن تتوفر لها عناصر مقاومة الحركة الرأسية والأفقية للقشرة الأرضية. ويمكن أن يحقق ذلك ببناء المنشأة على بلاطة من الخرسانة المسلحة الخفيفة المحمولة على طبقة من الصخور المهشمة.

لحماية المنشآت المعدنية يفضل أن يقسم إلى وحدات عن طريق الوصلات القابلة للحركة الانزلاقية.

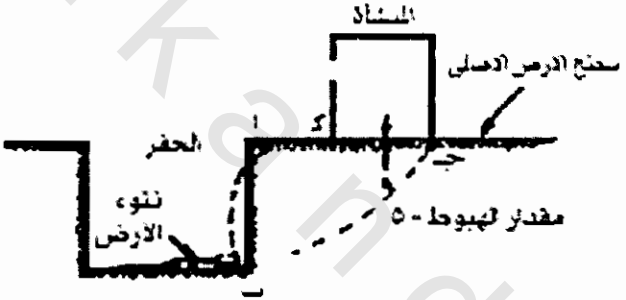
obeikandl.com

ثالثا: الهبوط فى المنشآت

يقصد بهبوط المنشآت حركتها إلى أسفل أثناء وبعد إتمام عمليات الإنشاء التى تسببها الإجهادات الناشئة عن الأحمال الساكنة والمتحركة ويمكن إجمال أسباب الهبوط فيما يلى:

١ – الإجهادات الناشئة فى التربة الحاوية على أساسات المنشأة نتيجة للأحمال الساكنة والمتحركة.

٢ – إزالة الدعائم الجانبية فمثلا إذا أزيلت التربة أو الصخور فى المنطقة الموضحة فى شكل (١٢٢) كان هناك احتمال لأن تتحرك المنشأة عند النقطة د بسبب الخنوع الجانبى للمواد على الجانب أ ب وتكون حركتها على مستوى الانزلاق ب حـ.



شكل رقم (١٢٢): الهبوط نتيجة إزالة الدعائم الجانبية.

٣ – الانهيار نتيجة لإجهاد القص: تسبب حالات انهيار القص ميل المنشأة أو هبوطها. وقد يكون هذا الهبوط غير منتظم. فمثلا إذا كانت كتل الرمال الناعمة محبوسة فإنها تكون البيئة الصالحة للأساسات بعكس ما إذا كانت مشبعة بالرطوبة، واستطاعت لسبب ما أن تزحف فى الاتجاهات الجانبية فإنها تزحف بما تحمله من منشآت أيضاً مسببة لها هبوطاً عن منسوب الإنشاء.

٤ – تذبذب منسوب المياه الأرضية: من المعروف طبقاً لقوانين الطفو أن وزن الجزء المغمور من الأرض أو المنشأة فى المياه الأرضية أقل من وزن الجزء غير المغمور وعندما يهبط منسوب المياه الأرضية نتيجة لعمليات الرفع أو لأسباب طبيعية أخرى، يزول تأثير الطفو على الأجزاء المغمورة ويزداد طبقاً لذلك وزنها. هذه الزيادة فى الوزن قد تسبب هبوط المنشأة وبالتالى تمثل انكساراً فى المنحنى الزمنى للهبوط. وقد يتكرر ارتفاع وانخفاض منسوب المياه الأرضية ويتكرر تبعاً لذلك هبوط المنشأة.

1. ladd, G.E, Landslides, Subsidence and Rock-falls: Railway Engineering Association Proceedings, V.36, P. 1091-1162,(1935).
2. Reynolds, H.R., Rock Mechanics: Crosby Lockwood, Lockwood, London, (1961).
3. Sharpe, C.F.S, Landslides and Related Phenomena : Columbia Geomorphic Studies, No, 11 columbia University press, (1938).
4. Briggs, H., Mining Subsidence: Arnold , London, (1929).
5. Lane, W.T., and J.H.Roberts, principles of Subsidence and the Law of Support: Knopf, London, (1929).
6. Zaruba, O.Landslides and their Control: Elsevr, Amsterdam, (1969).

obeikandl.com