السلامة في الإنفاق والمنشآت تحت الأرض

الجيولوجي / عبدالله بن ناصر العجيان

مستشار بيئة

الدائري الشرقي ، الرياض،ص.ب ٨٧١٢٨،الملكة العربية السعودية ، الرمز البريدي ١١٦٤٢

الملخص :

أن أعمال الحفر والأعمال الإنشائية تحت الأرض تعتبر بحد ذاتها اكثر الأعمال الإنشائية خطورة وتعتبر الدراسات الاستكشافية الجيولوجية والهيدروجيولوجية من المتطلبات الضرورية قبل البدء بالأعمال الإنشائية تحت الأرض ، ويستند موقع إنشاء الانفاق على عدة اعتبارات مثل عوامل الأمان والتي تكون متعلقة بأنواع الصخور والتي تتكون من الصخور الرسوبية والنارية (الجرانيت) .

يتم عقد العديد من البرامج التدريبية للعاملين بمختلف مستوياتهم ومواقع العمل فيما يتعلق بمتطلبات وتطبيق معايرالسلامة الدولية في الأعمال الإنشائية تحت الأرض ومنها مراقبة جودة الهواء ، تهوية الأنفاق ،إجراءات السلامة في حفر الأنفاق بواسطة التفجير ، استخدام الإضاءة الصناعية ، وسائل الاتصال ، إجراءات الإخلاء والطوارئ ، الحرائق والإطفاء الخ ....

هذه الورقةِ سوف تستعرض نموذج عملي عن طرق حفر الأنفاق سواء الميكانيكية آو بواسطة التفجير لعدة أنواع من الصخور و طرق تدعيم هذه الصخور وجوانب السلامة لها ، وأنظمة تصريف المياه الخ .

المقدمة :

تتضمن هذه الورقة نبذة مختصرة عن المراحل التي يتم إتباعها في تنفيذ المشروع حيث إن المرحلة الأولى هي مرحلة الدراسات الأولية للمشروع قبل اختيار مواقع الأنفاق والتي تشتمل على الاختبارات الجيولوجية السطحية عن طريق حفر أبار استكشافية ، إعداد الخرائط الجيولوجية ، تطبيق الطرق الجيوفيزيائية المختلفة مثل الطرق الكهربائية والسيزمية وهما اكثر الطرق كفاءة واستخداما في مجال الكشف الجيوفيزيائي هذا المجال ، حيث يمكن للتعرف على نوع الصخور ، الطبقات الصخرية ، الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور ، التراكيب الجيولوجية ، منسوب المياه الأرضية ، إعداد الخرائط الجيولوجية .

المرحلة الثانية تصميم الدعائم الملائمة لتدعيم الأنفاق والمرحلة الثالثة طرق الحفر سواء الحفر الميكانيكي او الحفر بواسطة تفجير الصخور ، المرحلة الرابعة تامين أماكن حفر الأنفاق وذلك بالاحتفاظ بحالة الاتزان للصخور المحيطة بالنفق عن طريق تدعيم الصخور سواء بواسطة الرشة الخرسانية (shotcrete)والدعائم المسمارية (Rockbolts) المرحلة الخامسة هي مراقبة حركة الصخور والتي تعتبر جزءاً هاما أثناء أعمال حفر الأنفاق وذلك عن طريق تركيب أجهزة لمراقبة حركة الصخور اما المرحلة السادسة هي المحافظة وحماية البيئة عن طريق تصميم أنظمة تصريف المياه كذلك تطبيق إجراءات السلامة والمحافظة على العاملين مثل تهوية الأنفاق .

أولاً – الدراسات الأولية للمشروع لاختيار أنسب مواقع الأنفاق :

الاختبارات الجيولوجية السطحية وتحت السطحية : يمكن تحديد الدراسات والاختبارات الجيولوجية بالطرق الآتية :

١- ***الدراسات الاستكشافية التحت سطحية بواسطة الحفر بالمثقاب*** (الحفار الماسي Diamond Drill) وهذه الطريقة تستخدم لعمل الثقوب العميقة في الصخور لأخذ عينة من الأعماق (Core Sample) للصخور التي يمر بها المثقاب كما هو مبين شكل (١) .

الشكل (١) الدراسات الاستكشافية التحت سطحية بواسطة الحفار الماسي

ويمكن استخلاص العينة من الاسطوانة على مراحل، ثم يتم تركيبها حسب التتابع الطبقي الجيولوجي في صناديق مع تحديد العمق عليها ومن ثم يتم توقيع هذه المعلومات في سجل العينات المخصصة لها CoreLog لها ليتم دراستها شكل (٢).

شكل (٢) عينات أسطوانية (Core sample)

٢- ***الدراسات الاستكشافية التحت سطحية بواسطة الحفر*** (بالحفار الدقاق Percussion Drilling) وهذه الطريقة تتم بعمل جسات بالحفر الميكانيكي في جميع أنحاء الموقع لتحديد عمق الصخور الصلبة كذلك إجراء دراسات تفصيلية للتراكيب الجيولوجية مثل الفوالق والفواصل (التراكيب الجيولوجية الغير ظاهرة على السطح) كذلك تحديد مسامية الصخور وسرعة وقدرة الاختراق Penetration Rate .

٣- الكشف الجيوفيزيائي :

في المناطق التي تختفي فيها مكاشف الطبقات يصبح من الضروري الحصول على معلومات كافية عن طبيعة الصخور تحت السطحية ويتم ذلك عن طريق الكشف الجيوفيزيائي لتحديد نوع الصخور وأعماقها وتراكيبها الثانوية كذلك قياس كثافة الصخور وشدة المغناطيسية والتوصيل الكهربائي ومرونة الصخور وتبعاً لذلك توجد أربع طرق رئيسية للكشف الجيوفيزيائي.

٣-١- طرق تثاقلية (جاذبية) Gravitational Methods

٣-٢- طرق مغناطيسية Magnetic Methods

٣-٣ - طرق كهربائية Electrical Methods

٣-٤- طرق سيزمية (زلزالية) Seismic Methods

وتعتبر الطريقتين الكهربائية والسيزمية هما أكثر الطرق كفاءة واستخدماً للأغراض (تحت سطح الأرض).

٣-٣ الطرق الكهربائية :

تختلف الخواص الكهربائية للمواد المكونة للقشرة الأرضية، وبصفة عامة فإن الصخور يتوقف توصيلها الكهربائي على عدة عوامل مثل حجم الفراغات التي توجد بها ونوع السوائل التي توجد بها كذلك اختلافات الصخور المتماسكة مثل الجرانيت، والصخور الرملية والتي تختلف في مسميتها وما تحتوي من سائل وأهم الطرق الجيوفيزيائية الكهربائية :

- طريقة الجهد المتساوي Equipotential Method.
- طريقة المقاومة Resistivity Method.

٣-٤ السيزمية :

تختلف خواص المرونة للصخور المكونة للقشرة الأرضية اختلافاً كبيراً، وتعتمد هذه الطريقة على التباين في هذه الخواص وينشأ عن الاختلافات في معاملات المرونة للطبقات الصخرية انعكاسات وانكسارات للموجات السيزمية تشبه لدرجة كبيرة انعكاس وانكسار الأشعة الضوئية عند مرورها خلال مواد مختلفة التركيب.

ويستخدم في الكشف السيزمي طريقتان هما :

١- طريقة الانعكاس Reflection Method

٢- طريقة الانكسار Refraction Method

٤- مسح شامل لمنسوب المياه ومدى تأثيرها على الموقع :

تعتبر المياه الأرضية أحياناً إحدى الصعوبات التي تصادفها في بعض المشاريع إلا أن هذه الصعوبات تقل إذا كان منسوب المياه الأرضية عميقاً ولا يظهر تأثيرها عند الإنشاء، وعندما يكون منسوب المياه الأرضية تحت مستوى الأنفاق بعدة مئات الأمتار.

ويمكن تحديد منسوب المياه عن طريق حفر آبار مراقبة يتم قياس سطح الماء في هذه الآبار وعلاقته بمنسوب الأنفاق مع متابعة ارتفاع وانخفاض المياه الأرضية شكل (٣) .

الشكل (٣) قياس مستوى المياه فى أبار المراقبة

٥- إعداد الخرائط الجيولوجية الأولية :

تعطي الخريطة الجيولوجية فكرة أولية عن الموقع المناسب لإنشاء الأنفاق حيث أن المعلومات المبينة بالخريطة الجيولوجية عن أنواع الصخور فوق وتحت سطح الأرض تكون ذات أهمية كبيرة للتأكد من مناسبة الموقع.

وأهم أنواع الخرائط الجيولوجية والتي يتم استخدامها ما يلي :

٥-١- الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية السطحية :

والتي توضح عليها المعالم الأرضية مثل التلال والوديان والسهول والمعالم المائية والمرافق العامة والمنشآت والمباني المختلفة، وخرائط الجيولوجية السطحية في الخرائط التي تبين نوع وتوزيع الرواسب المختلفة التي تغطي سطح المنطقة .

٥-٢- الخرائط الاستراتيجيرافية :

توضح مواقع الوحدات الصخرية والرسوبية وامتداداتها في الأبعاد الثلاثية كما تظهر بعض خواص الصخور ونوع الحفريات وتوزيعها في التتابع الطبقي.

٥-٣- الخرائط التركيبية :

يمثل هذا النوع من الخرائط التركيب الجيولوجي تحت السطح وتحتوي هذه الخرائط على رموز وعلامات تدل على نوع التراكيب الجيولوجية للصخور مثل الصدوع، والفوالق شكل .

٥-٤- الخرائط الجيولوجية المساحية :

يوضح عليها التكوينات الجيولوجية بالمنطقة التي تمثلها الخريطة وتوضح هذه الخرائط توزيع الصخور بالمنطقة وكذلك احتمالات توزيعها تحت غطاء التربة أو النباتات كما لو كانت جميع التكوينات الصخرية

تحت هذا الغطاء ظاهرة على سطح الأرض، كذلك تستخدم في هذه الخرائط رموز معينة توضح مقدار واتجاه ميل الطبقات والتتابع في عمر التكوينات الصخرية المختلفة.

ثانياً – تصميم الدعائم الملائمة لتدعيم الأنفاق :

تساهم الدراسات الخاصة بسلوك الصخور تحت تأثير الاجهادات المختلفة في إيجاد ووضع الحلول والتصاميم المناسبة لتدعيم الصخور، ويمكن تلخيص العوامل والأسس الرياضية التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار لإعداد التصاميم الخاصة بدعائم الصخور.

١- *الغطاء الصخري Rock Cover*

تقع الصخور تحت سطحية تحت تأثير الاجهادات الناتج عن ثقل الطبقات المكونة للغطاء الصخري ونتيجة لذلك تتولد في الصخور مجالات الانفعال والإزاحة والتي تختلف تبعاً للعمق.

٢- *تصنيف الصخور Rock Mass Classes :*

يتم تصنيف الصخور تبعاً لاختلاف سلوكها (خواصها الطبيعية والميكانيكية) تحت تأثير الاجهادات إلى ما يلي:

أ) صخور ضعيفة ب) صخور قوية جـ) صخور قوية جداً

٣- *الاجهادات والاحتمال الزلزالية Seismic Loads*

تنشأ بالصخور اجهادات أفقية نتيجة الحركات التكتونية إلى جانب الاجهادات المتولدة عن ثقل الغطاء الصخري وفي هذه الحالة تزداد فيه الاجهادات الأفقية على الاجهادات الرأسية.

٤- *الاجهادات والأحمال الأستاتيكية Static Loads*

تنشأ هذه الاجهادات أثناء أعمال الحفر حيث تنشأ حركة الصخور بمجرد البدء بأعمال الحفر .

ثالثاً – طريقة الحفر بالأنفاق :

١- *الحفر الميكانيكي :*

يتم تقسيم الأنفاق إلى مصاطب Benches لاستخراج مواد الحفر بعد ذلك تتم أعمال الحفر بواسطة معدة الحفر الميكانيكية (Road Header) وذلك باقتطاع الصخور من مواجهة التشغيل وبطريقة ميكانيكية مستمرة وهي تقدم إلى الأمام وبعد تساقط الصخور من الواجهة يتم نقل فتات الصخور والذي تم تكسيره عند واجهات التشغيل بواسطة ناقلات تحميل إلى الخارج في منطقة الردميات المخصصة لذلك (فوق السطح) شكل (٤).

الشكل (٤) أعمال الحفر بواسطة معدة الحفر الميكانيكية ((Road Header

٢- الحفر بواسطة التفجير :

٢-١- تفجير الأنفاق Tunnel Blasting

يستخدم التفجير لحفر الأنفاق في المناطق التي تحتوي على صخور صلبة والمواد التي تستخدم في التفجير متعددة الأنواع منها مواد قوية التفجير والأخرى ضعيفة والمواد مثل بريليت، اميولايت.

٢-٢- الأسلوب التقني لحفر الأنفاق بالتفجير :

يقوم فريق المساحة بأخذ البروفيل داخل الأنفاق لتحديد المنطقة التي سوف يتم التفجير بها وتقريباً بتراوح الطول من ٤م – ٦م حسب نوعية الصخور، كما أنهم يقومون بتجهيز الواجة المطلوب تفجيرها بتحديد الثقوب المطلوب لشحن الوجه. شكل **(٥)**

٣- إجراءات السلامة في حفر الأنفاق (بالتفجير) :

- إخلاء منطقة التفجير من العمال والمعدات.
- إخلاء المنطقة المجاورة لمنطقة التفجير من العمال.
- إغلاق المداخل التي تؤدي إلى منطقة التفجير.
- عدم التدخين في منطقة التفجير.
- إبعاد جميع المركبات من منقطة التفجير.
- وضع المواد المتفجرة في مركبات خاصة ومُحكمة بالإضافة إلى الحراسة المشددة.

ولكي يتم الحفر بطريقة التفجير لابد أن تكون هناك دراسة موضوعية لطبيعة الصخور الذي سوف ينشأ النفق من خلاله، هذه الدراسة تساعد على وضع تصميم يحدد عدد الثقوب المطلوب تفجيره وكذلك المساحة بالإضافة إلى النواحي الجيولوجية الواقعة في المنطقة ثم تبدأ عملية التثقيب لشحنها بالمتفجرات بعد عملية التفجير تبدأ عملية إزالة وتنظيف الموقع من مواد الصخور المكسرة نتيجة عملية التفجير.

الشكل (٥) التحضير لتفجير واجه أحد الأنفاق

رابعاً – تدعيم الأنفاق :

من المعروف أن الإجهادات في الصخور الصلبة تتكون نتيجة الأحمال الواقعة عليها بواسطة ثقل طبقات الصخور التي تعلوها، وبمجرد عمل فتحات الأنفاق ينتج توزيع الأحمال ويختلف مجال الإجهادات بما يؤدي على تكسر الصخور في حالة الصخور المرنة (Elastic Rock) وبالتالي تميل الصخور إلى سقوط أو التحرك ويمكن زيادة تثبيت حركة هذه الصخور بتدعيم الصخور وكذلك إعادة توزيع الأحمال الواقعة على فتحة النفق، بحيث تصبح موزعة على حوائطها الجانبية ويوجد عدة انواع من الدعائم :

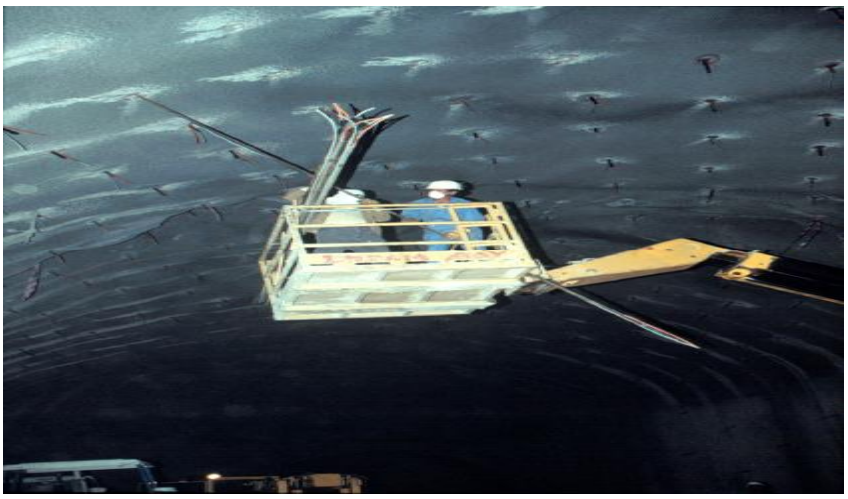
١- *دعائم مؤقته :*

وهي دعائم لتدعيم الصخور أثناء عمليات الحفر لتجنب خطر وقوع أو انهيار الصخور ومقاومة الضغط المتزايد حتى تصل الصخور إلى حالة الاتزان وحينئذ يمكن استخدام الدعائم الدائمة إذا تطلب الأمر.

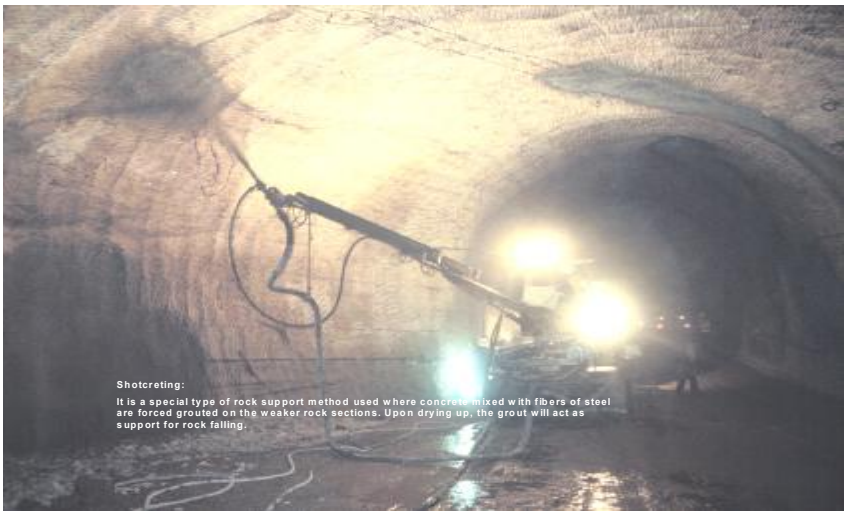
٢- *الدعائم الدائمة :*

وتعتبر الدعائم الدائمة من أنسب الدعائم نظراً لانها تتحمل قوة الضغط وكذلك الشد ومنها الدعائم المسمارية Rock Bolts ويتم التدعيم وذلك بحفر ثقوب في الصخور ثم يتم إدخال المسمار الصخري وصب الأسمنت بين المسمار والفراغ الصخري وحتى يكون الصخر في حالة انضغاط يتم تثبيت صامولة وشدها في طرف المسمار شكل (٦).

ويمكن استخدام هذا النوع من الدعائم كدعم مؤقتة كذلك يوجد الرشة الخراسانية (Shotcrete) وهي عبارة عن رش خليط من الأسمنت والرمل مع بعض الألياف الحديدية بواسطة الهواء المضغوط حيث تعمل الرشة الخراسانية على تماسك الصخور وتوزيع الإجهادات على حوائط النفق. شكل (٧).



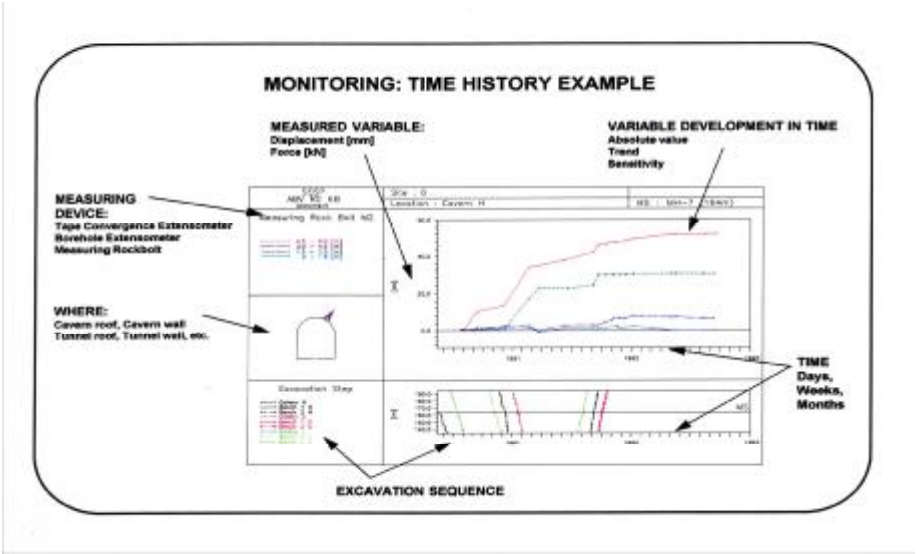
الشكل (٦) تركيب الدعائم المسمارية (Rock Bolts



الشكل (٧) تدعيم الصخور بواسطة الرشة الخرسانية

خامساً – مراقبة حركة وتشوهات الصخور المحيطة بالأنفاق :
Monitoring of Tunnel Deformation

مراقبة حركة الصخور تعتبر مهمة حداً سواء إثناء عمليات الإنشاء أو بعد عمليات الإنشاء ويتم ذلك عن طريق وضع أجهزة خاصة لمراقبة الصخور مع تمثيل نتائج قراءات هذه الأجهزة بواسطة منحنيات هندسية وتوضيح العلاقة بين الزمن ونتائج قراءات هذه الأجهزة وغالباً ما تكون العلاقة بينهما أن يأخذ اتجاه المنحنى الهندسي بالنقصان مع الزمن في حالة استقرار حالة الصخور والعكس صحيح شكل (٨).



الشكل (٨) مراقبة حركة وتشوهات الصخور المحيطة بالأنفاق

١- *طرق مراقبة حركة الصخور Methods of Monitoring Deformation :*

١-١- *أجهزة مساحية دقيقة بواسطة Measuring Rock Bolts*

هذه الأجهزة الغرض منها مراقبة إزاحة الصخور أو بمعنى آخر مراقبة إزاحة الهدف حيث يتم وضع الهدف في السقف أو الحوائط ومدى إزاحته عند أخذ القراءة بواسطة أجهزة المساحة.

وتبلغ دقتها± ٠,٠٢مم وبالإمكان قياس إزاحة للصخور تتراوح مابين ٠,٠١مم الى ١٠٠مم .

١-٢- *أجهزة المقاس المتقاربة Convergence*

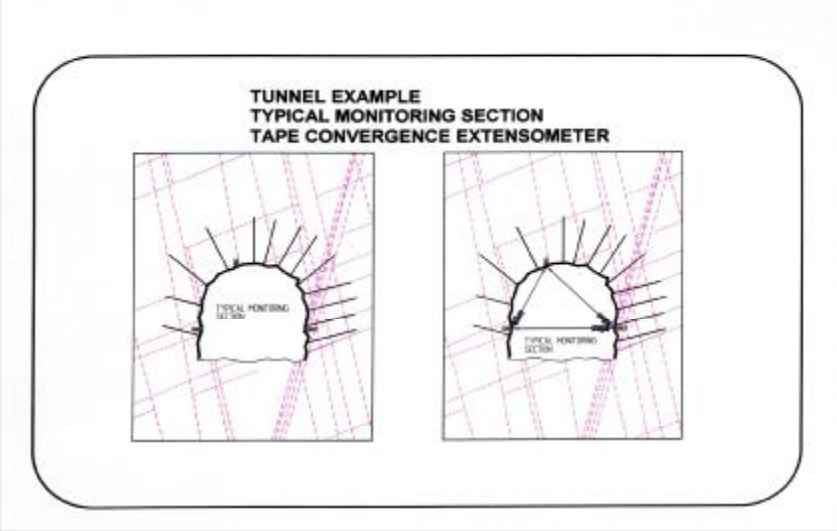
وتتم عملية القياس وذلك بوضع عدة نقاط في منطقة النفق بحيث يتم تركيبها في حوائط أو أسقف النفق بشكل عمودي أو أفقي وبعد ذلك يتم القياس بواسطة متر معدني حساس لقياس المسافة بين هذه النقاط ومعرفة وجود أو عدم وجود إزاحة بين هذه النقاط سواء أفقية أو عمودية شكل (٩).

وتبلغ دقتها± ٠,٠٢مم وبالإمكان قياس إزاحة للصخور تتراوح مابين ٠,٠١مم الى ١٠٠مم .

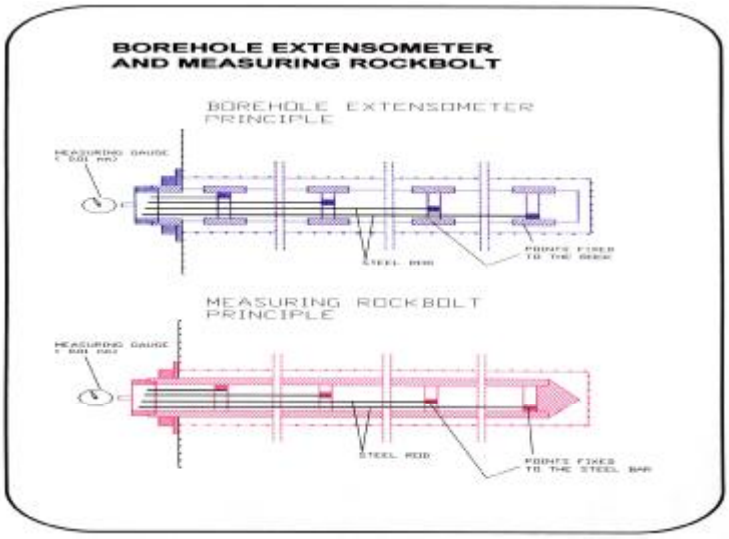
١ - ٣ - الاكستنسوميتر *Extensometers*

وهو عبارة عن قضيب معدني واحد أو متعدد يتم تركيبه في المنطقة المراد قياسها ويتم تثبيته في الصخر وذلك عن طريق حفر ثقب بطول المنطقة أو النقطة المراد قياسها بعد ذلك يتم وضع القضيب المعدني بعد تغليفه بواسطة أنبوبة معدنية وعند نهاية القضيب يوجد مقياس (Gauge) وعند حدوث أي حركة أو إزاحة عند تلك النقطة وبطريقة ميكانيكية فإن القضيب المعدني سوف يتحرك وبالتالي أخذ القراءة عن طريق المقياس Gauge والمتواجد عن نهاية القضيب. شكل (١٠).

تبلغ دقته ٢,٥مم -± ٠,٢٥مم وبالإمكان قياس إزاحة للصخور تتراوح مابين ٠,٢٥مم الى ١,٠٠مم ويتم تركيبها في الأنفاق الأكثر إتساعاً كذلك في صخور الأنفاق الضعيفة التي تزيد فيها التراكيب جيولوجية (الشقوق والفواصل) .



شكل (٩) أجهزة المقاس المتقاربة Convergence



شكل (١٠).قياس تحركات الصخور بواسطة أجهزة القياس الاكستنسوميتر

سادساً –المحافظة وحماية البيئة :

يتم إعداد تصاميم ودراسات لحماية البيئة ووضع الخطط والإجراءات اللازمة للمحافظة على البيئة المحيطة بمنطقة الخزن، وأهمها ما يلي :.

١- يتم تصميم أنظمة تصريف داخل الطبقات الصخرية فيما لو حصل تسرب عن طريق *نظام تصريف المياه من الصخور* ، والهدف من استخدام النظام هو المساعدة على تصريف المياه الناتجة من هطول الأمطار والسيول ويمنع أي تجمع لضغط المياه (الضغط الهيدروستاتيكي) وتأثيره على حوائط الأنفاق، حيث يتم تركيب شرائط تصريف أفقية ورأسية وتوزيعها على طول حوائط وأسقف الانفاق ومن ثم توصل عبر أنابيب الى أرضية النفق ومن ثم إلى غرف التصريف والتفتيش شكل (١١).

شكل (١١) شرائط تصريف المياه

٢- تحتاج الأنفاق إلى التهوية للمحافظة على العاملين وذلك بتزويدهم بكميات كافية من الأوكسجين كذلك لتخفيف درجة تركيز الغازات (خاصة بعد أعمال التفجير) والأتربة الظروف الجوية العادية ويمكن تحقيق ذلك عن طريق فتحات رئيسية مؤقتة Shaft تمتد من السطح إلى سقف النفق أو عن طريق مداخل الأنفاق وذلك بتركيب مراوح سحب Exhaust Fan لتزويد الأنفاق وباستمرار كمية كافية من الهواء النقي وطرد الملوث منها **شكل** (١٢)

شكل (١٢) تهوية الأنفاق

الاستنتاجات

– تعتبر الأعمال الإنشائية تحت الأرض بحد ذاتها نوع من التحدي ومصدر هذا التحدي صـــلابة الـــصخور والمشاكل المتعلقة بأعمال الحفر أثناء التنفيذ، ، ونقل نتاج الحفر الى منطقة الردميات المخصصة لهـــا فـــوق السطح وتأمين مواقع أعمال الحفر في الأنفاق والاحتفاظ بحالة إتزان الصخور أثناء وبعد أعمال الحفر مـــع دراسة مناطق الضعف الواجب تدعيمها ونوع التدعيم الملائم وكذلك استخدام احدث ما توصلت إليـــة التقنيـــة الحديثة لتذليل هذه التحديات وضمان استمرار أعمال الحفر بالأنفاق بطريقة آمنة على مدى عمر المـــشروع و مراعاة احتياطات السلامة للعاملين وسلامة الأنفاق . مع توافر مجموعة من الخدمات الأخـــرى اللازمـــة لاستمرار أعمال الحفر بالأنفاق مثل التهوية ، الإضاءة ، الخ ....

قبل اختيار موقع الأنفاق وقبل عمل التصاميم وتنفيذ أعمال الحفر بأمان لابد من عمل الدراسات الجيولوجيـــة والهيدروجيولوجية والتعرف على الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور كذلك تحديد التراكيب الجيولوجيـــة التي توجد عليها الصخور تحت الأرض .حيث تعتبر هذه من الدراسات الهامة التى علـــى ضـــوء نتائجهـــا يمكن تقرير ما إذا كان الموقع مناسب آم لا .

المراجع :

1- Rock Mechanics for underground Mining , B.H.G.Brady ,Division of Geomechanics ,CSIRO,Australia , E.T.Brown , Imperial College Science and Technology , London , 1985

2- Applied Explosives Technology for Construction and Mining , Sitig O Olofsson ,Sweden 3- Rock Mechanics Design in Mining And Tunneling , Z.T.Bieniawski , Professor of Mineral Engineering and Director Mining and Mineral Resources Research Institute , The Pennsylvania State University , 1984.

4- Introduction to Rock Mechanics , Richard E .Goodman , University of California at Berkeley .