Geology of Tunnel

النفق Tunnel

هو ممر تحت سطح الأرض طوله أكبر من ضعف عرضه وهو مغلق من كل الجهات النفق عدا فتحة في كل من نهايتيه وممرات جانبية للصيانة والإنقاذ.

تصنيف الأنفاق طبقا لاستخدامها Classification of tunnels according to their use

- **railway tunnels أنفاق القطارات :** وتكثر عادة في المناطق الجبلية وتنفذ أحيانا للعبور تحت الأنهار أو لتجاوز المناطق السكنية المكتظة

- **highway tunnels: أنفاق الطرق:** مع زيادة حركة السير على الطرق الرئيسية ومع تطور صناعة السيارات أصبح تنفيذ هذا النوع من الأنفاق لاختراق المناطق الجبلية أو تحت المجاري المائية (الأنهار) أو تحت الساحات والمناطق المكتظة ضرورة ملحة لتشكل استمرارا مباشرا للطرق.

- **pedestrian tunnels أنفاق المشاة:** ينتمي هذا النوع من الأنفاق إلى أنفاق الطرق لكن مقطعها العرضي أصغر لأنها غير مخصصة لمرور السيارات بل يستخدمها المارة وبالتالي ليس من الضروري أن تكون مقاطعها العرضية كبيرة أوميولها الطولية صغيرة، ويمكن أن تنتهي بأنفاق شاقولية تحتوي على مصاعد لنقل المارة من خلالها إلى سطح الأرض.

- **hydroelectric plant tunnels أنفاق المحطات الكهرمائية:** يتم تحويل مياه الأنهار وتمريرها عبرأنفاق تصل عادة بين خزان مياه reservoir عالي المستوى إلى محطة لتوليد الطاقة الكهربائية تقع في مستوى منخفض. يصمم المقطع العرضي لهذه الأنفاق على شكل حذوة حصان أو دائري ليتحمل ضغط المياه العالي الناتج من الفرق الكبير بين مستوى المياه في الخزان ومستوى محطة توليد الطاقة.

- **أنفاق تزويد المياه water tunnels :** تستخدم هذه الأنفاق لنقل مياه الشرب بالجريان الحر من الينابيع أو الأنهار إلى خزانات تجميع المياه في المدن.

- **sewer tunnels: أنفاق مياه المجاري:** تنفذ هذه الأنفاق لتصرف المياه الناتجة من الاستخدامات المختلفة تشبه أنفاق التزويد بمياه الشرب من حيث إن الجريان فيها يتم تحت تأثير الفرق بين المستويات،

ولكن يجب حماية جدران هذه الأنفاق بطلائها بمواد خاصة لأن المياه المصروفة تكون محملة عادة

بمواد عدوانية تؤدي إلى تآآل المواد المكونة لجدران الأنفاق.

- **utility tunnels: أنفاق الخدمة** تنفذ هذه الأنفاق عادة في المدن ليمرر فيها آابلات الطاقة والهاتف وأنابيب الماء والغاز.

اهم الدراسات الجيلوجية الواجب عملها قبل واثاء تنفيذ الانفاق:

The most important geological studies to be done before and during the construction of the tunnel:

- تحديد انواع التراكيب الجيلوجية ونوع الصخور لمنطقة النفقوخواصها الميكانيكية والجيلوجية.
- عمل القطاعات الجيولوجية الطولية والعرضية للنفق والصخور المحيطة به.
- معرفه مدى تأثر المنشآت السطحية بعمليات النفق .
- مقارنة جيولوجية منطقة النفق بالمشابه من الأنفاق القريبة من المنطقة.
- تحديد مصادر الحصول على مواد الإنشاء من مناطق قريبة.
- مل مسح شامل لمنسوب المياه السطحية والأرضية ومدى تأثيرها على النفق والصخور المحيطة به.
- دراسة مناطق الضعف الواجب تدعيمها ونوع التدعيم الملائم.

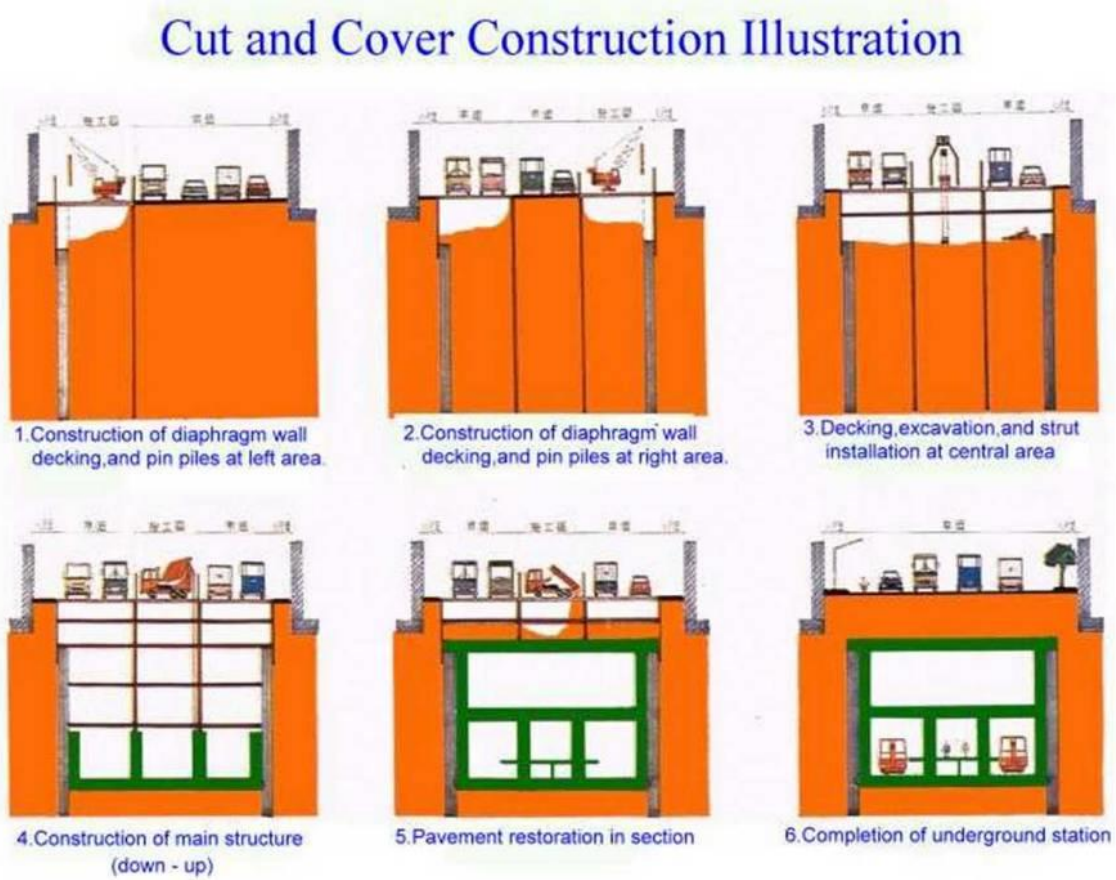
طرق تنفيذ الانفاق:Methods of tunnel construction

1- الحفر السطحي ثم الردم cut and cover

يكون عمق النفق قريب من سطح الارض عادة في المدن لتسهيل وصول الركاب واعمال الصيانة لذلك يحفر خندق على طول النفق وينفذ فيه هيكل خرساني مسلح ثم يعاد ردم التربة حوله بعد تنفيذ طبقات عزل مائي مناسبة له من الخارج.

2- تنفيذ الانفاق بواسطة الة حفر الانفاق TBM (Tunnel-Boring Machines)

تستعمل الات TBM لحفر الانفاق ذات المقطع الدائري في كل انواع الصخور والتربة وباقطار تبدا من 1.5 متر الى 15 متر. والحفر بهذه الالات لا يؤدي الى اضطراب الترب بالنفق ويضمن سطح حفر ناعم مما يقلل تكلفة تبطين النفق الى حد كبير. اما عيوب التنفيذ بهذه الطريقة هي كلفتها المرتفعه.



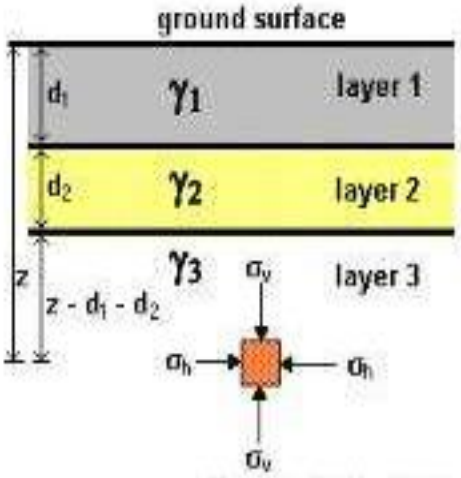
The stresses generated by the construction of the tunnel:

الاجهادات المتولدة نتيجة انشاء النفق:

يختلف توزيع الاجهادات في الصخور قبل و بعد انشاء النفق. قبل انشاء النفق تكون الاجهادات في الصخور (الاجهادات العمودية و الافقية) ناتجة عن وزن طبقات الصخور التي تقع اعلى منها ،دون ان تؤدي تلك الاجهادات الى أي تشوهات (انفعالات) في النقطة التي عليها الاجهاد بسب عدم وجود أي حركة كون تلك النقطة محصورة بالصخور المجاورة .

$$\sigma_v = \gamma_1 * d_1 + \gamma_2 * d_2 + \gamma_3 * (Z - d_1 - d_2)$$

$$\sigma_h = k_o * \sigma_v$$



حيث ان γ: تمثل كثافة الطبقة.

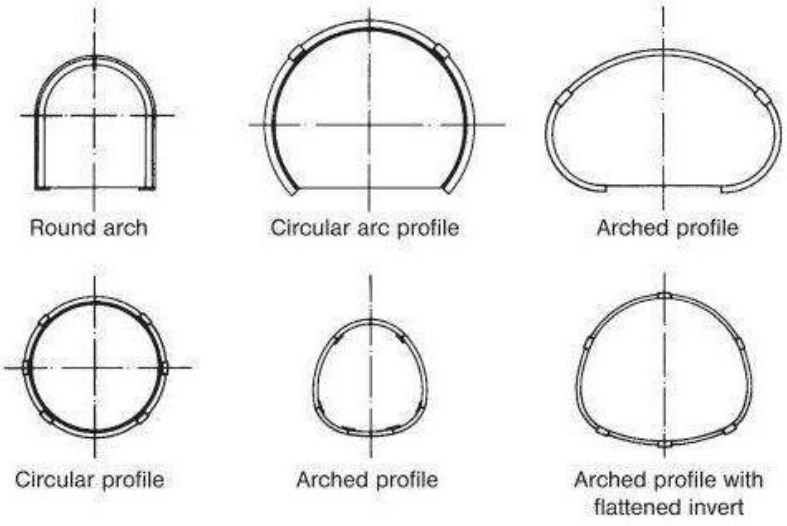
سمك الطبقة :d **ثابت الانضغاط الافقي عند السكون. :ko**

و لكن عند حفر النفق سوف تزال تلك الصخور المجاورة)التي كانت تمنع الحركة(و بالتالي فان تأثير الاجهادات سوف يظهر من خلال حدوث تحرك لحبيبات التربة او الصخور باتجاه النفق (حفرة النفق) و تلك الحركة تعتمد على:

1. قيمة الاجهاد(عمق النفق :)مع زيادة عمق النفق يزداد الاجهاد العمودي و الافقي المسلط.

2. و نوع الصخرة او التربة اي على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكة للصخرة او التربة(قوة الصخرة او التربة)و بالتالي فان الحركة قد تكون صغيرة جدا غير محسوسة او قد تؤدي الى حدوث تشققات في الصخرة او حدوث انهيار.

3. كذلك تؤثر اشكال مقطع الحفر على قيمة الاجهادات و الاشكال المدرجة ادناه توض اهم اشكال المقاطع للانفاق.



في حالة كون الانفاق دائرية المقطع فان توزيع الوزن فوق النفق غير منتظم التوزيع و توزيع الاجهادات التي تكون حول النفق تؤدي الى تولد قوى قصية حول النفق shear forces

حالة إنشاء فتحة دائرية (نفق) في صخور كتلية ذات البعدين :
(Opening In Massive Rock, Two-Dimensional Case)

ان توزيع ومقدار الاجهادات حول هذه الفتحة في الصخور الكتلية يمكن ايجاده بأستخدام نظرية المرونة. مع الاخذ بنظر الاعتبار خواص الصخور الميكانيكية، وشكل الفتحة، ومجالات الاجهادات في الصخور قبل القيام بأنشاء الفتحة .

يمكن حساب الاجهادات العمودية Vertical stresses باعتبارها تساوي وزن الصخور التي فوق الفتحة:

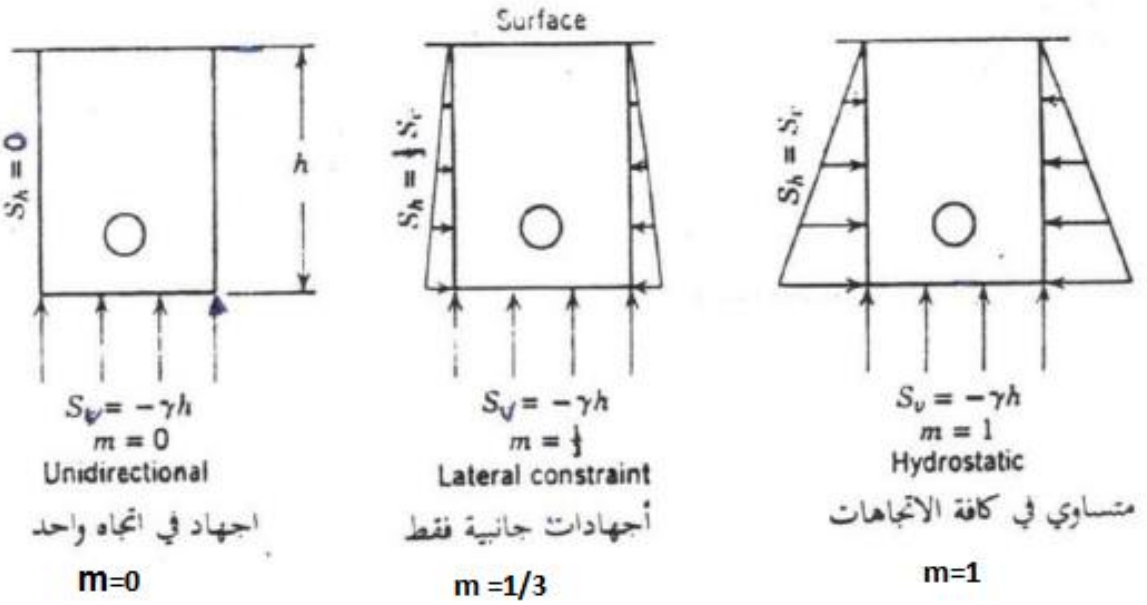
$$\sigma'v = -\gamma h$$

h= vertical distance from the surface

الاجهاد الافقي يتم حسابه: $\sigma'h = m * \sigma'v$

حيث : m تمثل ثابت و $\sigma'h$ الاجهاد الافقي

الشكل ادناه يمثل 3 انواع من مجالات الاجهاد وقيم الثابت m محصورة بين 0 و1



m=0 **m =1/3** **m=1**

في حالة الاجهاد الممثل في m = o ، فأنه يمكن ان يحدث على اعماق ضحلة أو بالقرب من سطح حر. أما في حالة الاجهاد الممثل في قيمة m = 1/3 فيحدث في مدى واسع وعلى أعماق بعيدة من سطح الارض. وفي حالة الجسم الصخري المحاط من جميع الجهات بصخور فلا يحدث تشويه جانبي. وتوضع العلاقة بين **الاجهاد** الرأسي والاجهاد الافقي بأستخدام نسبة بويزون (ν) **Poisson ratio** كالاتي

Ơh/Ơv = v/(1-v)= m

For rocks : Poisson ratio between 0.15-0.40

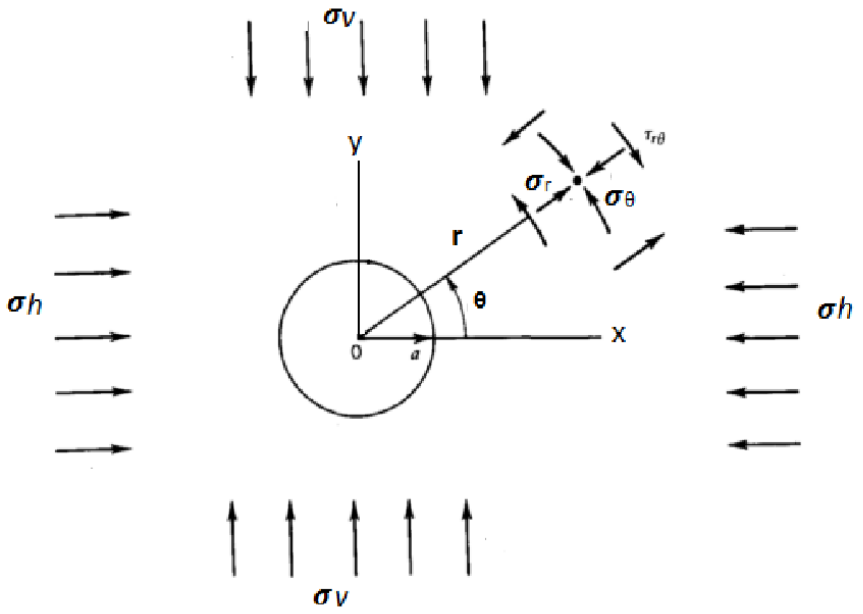
توزيع الاجهادات حول الفتحة الدائرية (نفق دائري)
(Stress Distribution Around Circular Opening)

يمكن استخدام حل كيرج solution of Kirsch لتوزيع الاجهادات:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_h + \sigma_v}{2}\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{\sigma_h - \sigma_v}{2}\left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right)\cos 2\theta$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_h + \sigma_v}{2}\left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{\sigma_h - \sigma_v}{2}\left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right)\cos 2\theta$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_h - \sigma_v}{2}\left(1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4}\right)\sin 2\theta$$



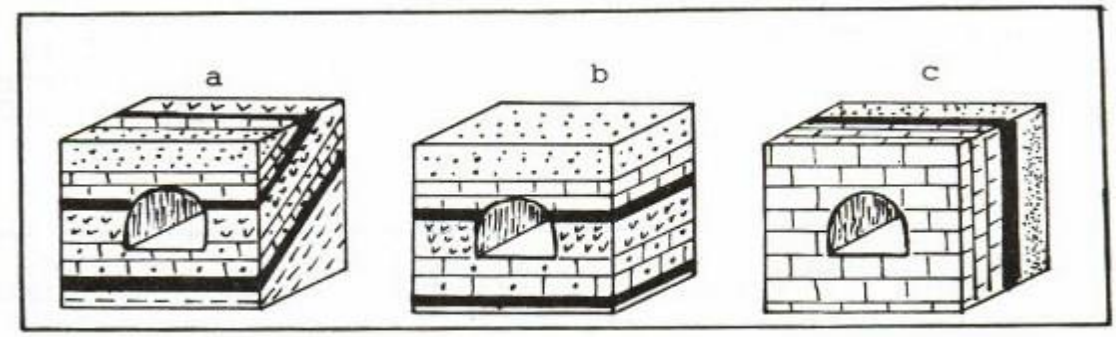
Stresses around a circular hole in anisotropic initial stress field (solution of Kirsch).

EFFECT of GEOLOGICAL STRUCTURES to TUNNEL EXCAVATION

تاثير التركيب الجيولوجي على حفر الانفاق

تتوقف كيفية توزيع الاجهادات و القوى حول الانفاق المبطنة على اتجاه و ميل طبقات الصخور و التربة التي يتم حفر الانفاق خلالها .و يبين الشكل ادناه الاوضاع المختلفة لطبقات الصخور التي يخترقها النفق.

الشكلA عندما تكون طبقات الصخور افقية فأنها تعطي توزيعا منتظما للإجهادات على جدران النفق)أي ان كلا جانبي النفق يتحمل نفس الضغط(. و كذلك يكون هذا التوزيع منتظم في حالة كون الطبقات مائلة في اتجاه محور النفق كما بالشكل B و يبقى هذا التوزيع المنتظم عندما تكون طبقات الصخور عمودية و كما بالشكل C .



Relation of layers and tunnel direction

الانفاق في مواقع الثنيات Folds

اولا :النفق يكون موازي للثنية(مع اتجاه التطبق)

الشكل(أ)يوضح النفق يخترق مستويات تطبق الثنية.

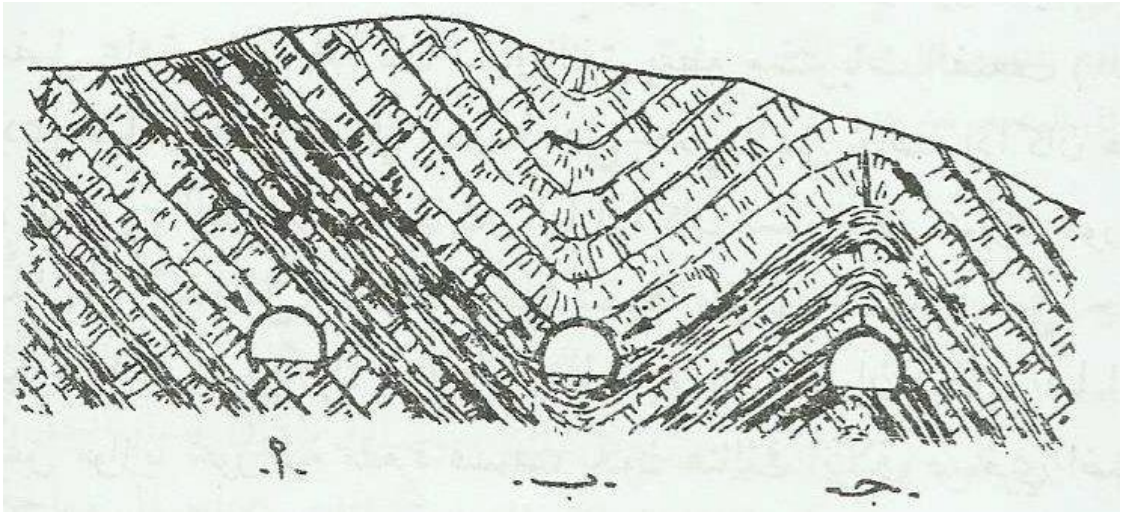
الشكل(ب) يوضح النفق يخترق الثنيات المقعرة : •يزداد الضغط العمودي على تبطين النفق.

•اذا كانت الطبقات العلوية حاوية على المياه فأنها ستسرب الى داخل النفق.

الشكل(ج) يوضح النفق يخترق الثنيات المحدبة • :يقل الضغط الواقع على حوائط تبطين النفق نتيجة لتقوس طبقات الصخور الى الاعلى.

•اذا كانت الطبقات المار خلالها النفق حاملة للمياه الارضية فان هذه المياه تتسرب الى الاسفل.

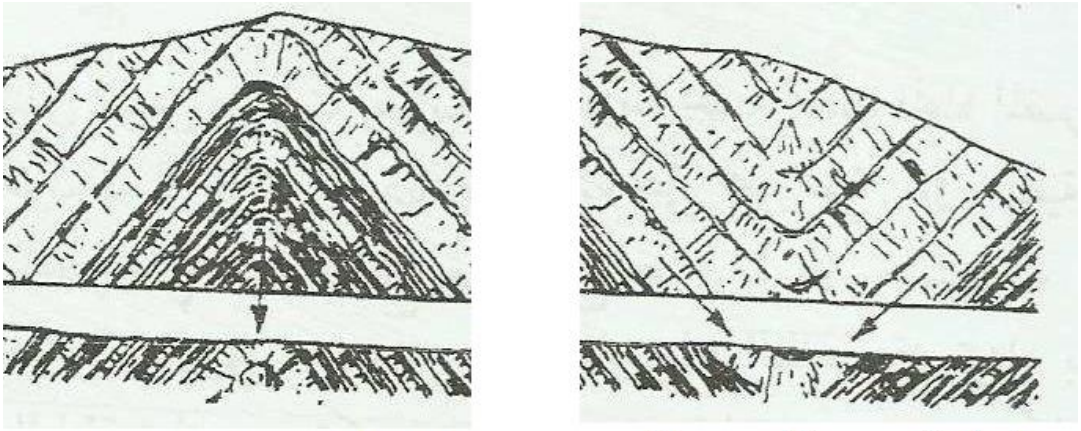
•نتيجة التقوس العالي فان ذلك سيؤدي الى حصول اجهادات شد يؤدي الى تشقق الصخور.



ثانيا :النفق يكون عمودي على الثنية(عمودي على اتجاه الطبقة)

أ .في الثنية المقعرة :يقل الضغط المتأتي من الطبقات العلوية عند نهايتي النفق و يزداد عند منتصفه و كما بالشكل ادناه.

ب . في الثنية المحدبة :يزداد الضغط المتأتي من الطبقات العلوية عند نهايتي النفق و يقل عند منتصفه و كما بالشكل ادناه.



الانفاق في مواقع الفوالق Faults (التصدع و مستويات الضعف:)

يجب التأكد من عمر النفق فان كان حديث التكوين فيقال عنه فالق نشط فهناك احتمال ان ينشط خلال الحفر و تتحرك كتل الصخور على جانبيه معرضة النفق الى خطورة بالغة.

بشكل عام يجب تجنب انشاء النفق في مناطق الفوالق. وان كان ولا بد من انشاء نفق في منطقة الفوالق فيجب ان يكون محور النفق عموديا على اتجاه الفالق .

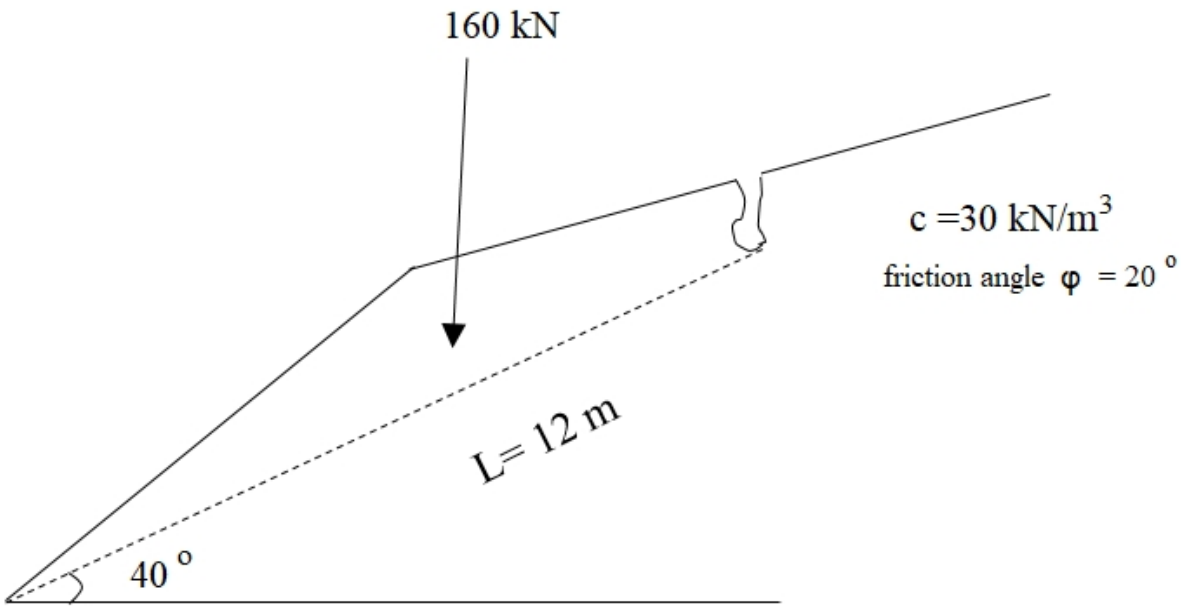
الانفاق خلال المياه الارضية

Water Problem, (Tunnels that open under the groundwater level)

يؤثر انشاء نفق في مكان ما على جيولوجية المياه الارضية في المنطقة (موقع المستوى المائي و حركة المياه و كميتها و اتجاهها) و على العموم فان المياه تنساب نحو النفق. فاذا كان النفق قد حفر خلال صخر اصم خالي من التشققات فان المياه لا تستطيع ان تنفذ الى النفق، على عكس الانفاق المحفورة خلال صخور حاوية على تشققات فان الانفاق تكون مملوءة بالمياه المتحركة و الساكنة. و من الانفاق التي تكون معرضة الى تسرب مياه اليها هي تلك الانفاق التي حفرت اسفل الانهار و البحيرات حيث ان مياه تلك البحيرات و الانهار تتسرب الى داخل النفق. او تتسرب المياه الى داخل النفق نتيجة حصول عملية تكثيف لبخار الماء من المياه الموجودة في باطن الارض.

مثال على حساب معامل الامان للمنحدرات:

Example : Calculate safety factor of sliding for landslide slope in figure below:



Factor of Safety SF=Resistance force(R)/driving force(D)

D= Wcos 40 =
D= 160/12 *cos 40 =10.2 kN/m2/m

R= 30+(160/12 *sin 40)tan 20 = 33 kN/m2/m

SF= 33/10.2 =3 > 1 safe