Engineering Geology
DWE2304

University Of Anbar - College Of Engineering

Dams and Water Resources Engineering Dep.

First Stage

Dr. Rafid Saadoon

Geology :

It is the science which is devoted to the study the earth. It deals with all features of the earth's surface and with origins, composition, structures of the earth. (geo means earth, and logy means study of).

الجيلوجيا: هو العلم الذي يكرس لدراسة الارض وهو يتعامل مع جميع ملامح سطح الارض واصل ومركبات وهيكل الارض. ومصطلح geology يتكون من جزئيين geo وتعني الارض و logy وتعني العلم ..اي علم الارض.

Scope of Engineering Geology

-Engineering geology forms the bridge between geology and engineering.

-It is mainly concerned with the application of geology to civil and mining engineering practice.

-The purpose is to ensure that geological factors affecting the **planning**, **design construction** and **maintenance** of engineering works and the development of groundwater resources are recognized, adequately interpreted and presented for use in engineering practice.

اهداف الجيولوجيا الهندسية Objectives of Engineering Geology:

1. دراسة وفحص التربة والصخور واجراء التجارب المختبرية والميدانية لتقييم الطبيعة الجيولوجية والتركيبية في المواقع الهندسية.
2. تقديم الاستشارة الجيولوجية في المواقع الهندسية كمشاريع الطرق والانفاق والسدود والمنحدرات وحماية الشواطئ وغيرها.
3. المساهمة في حل المشاكل الهندسية والبيئية الناتجة اوالمصاحبة لاقامة المشاريع الهندسية.
4. تقييم الاثار الناتجة عن الفيضانات والزلازل والبراكين والتصحر وايجاد الحلول المناسبة لها.
5. المساهمة في نشر التوعية البيئية والجيولوجية من كل مايهددها من مخاطر والمساهمة في درء هذه المخاطرمن خلال تقديم البحوث والمنشورات العلمية في مجالات الجيولوجية الهندسية والبيئية.

Branches of Geology:

The subject of geology is divided into several branches such as follows:

1-Geophysical: It is study the physical properties of earth.

2-Petrology: It is study the physical, mechanical and chemical properties of rocks.

3-Mineralogy: It is study the types of minerals.

4-Stratigrahy:It is study of rock layers and their formation.

5-Paleontology: It deals with the study of fossils.

6-Structural Geology: It deals with the study of folds, faults, joints.

7-Economic Geology: It deals with the study of minerals and rocks of economic importance.

Branches of Geology: *continue..*

8-Seismology: It deals with the study of distribution and reasons of earthquakes.

9-Engineering Geology: It includes the study of application of geology in the engineering fields.

10- Hydrogeology – The study of the distribution and movement of groundwater

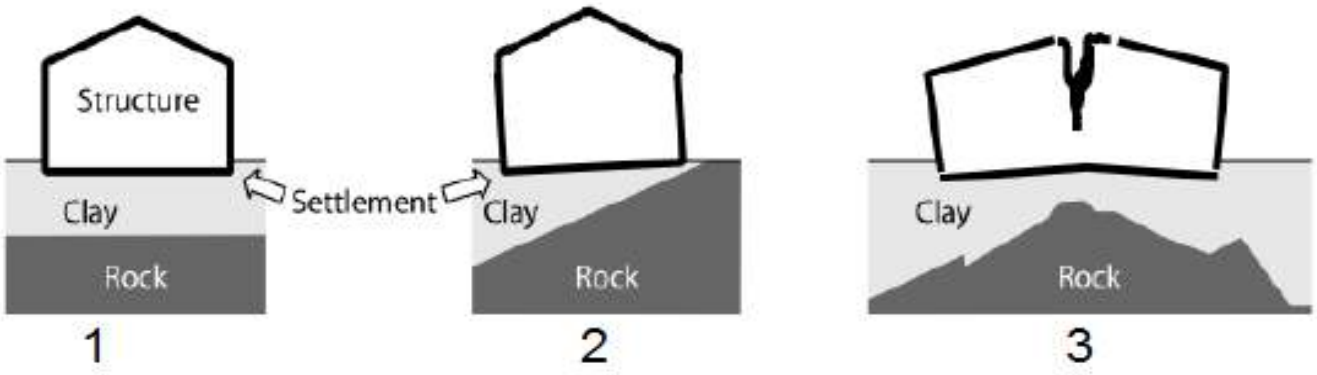
11-Marine geology – The study of the history and structure of the ocean floor.

The importance of studying geology for civil engineer and dam engineer

اهمية دراسة الجيولوجيا بالنسبة للمهندس المدني ومهندس السدود:

١. جميع المنشآت المدنية تقام على او تحت الارض لذلك لا بد من معرفة تفاصيل الارض التي يتم انشاء المشروع عليه لكي يتم التصميم بما يلائم طبيعه طبقات وتضاريس الارض.
٢. يحتاج الى معرفة اماكن وخواص و مواد الارض للاستفادة منها في انشاء المشروع.
٣. المعرفة المسبقة بجيولوجية المنطقة يساعد على تقليل الكلف والوقت واختيار الطرق الاكثر دقة وامانا بالحفر والتنفيذ.
٤. المعرفة المسبقة لجيولوجية الارض تساعد على تجنب المخاطر المستقبلية التي قد تحدث.
٥. توفر الخبرة الجيولوجية للمهندس تساعده على فهم الخرائط الجيولوجية والطوبوغرافية وقراءة التقارير الجيولوجية.

Effect of Geology on the Safety of Engineering Facilities



اثر البيئة الجيولوجية على سلامة المنشآت الهندسية

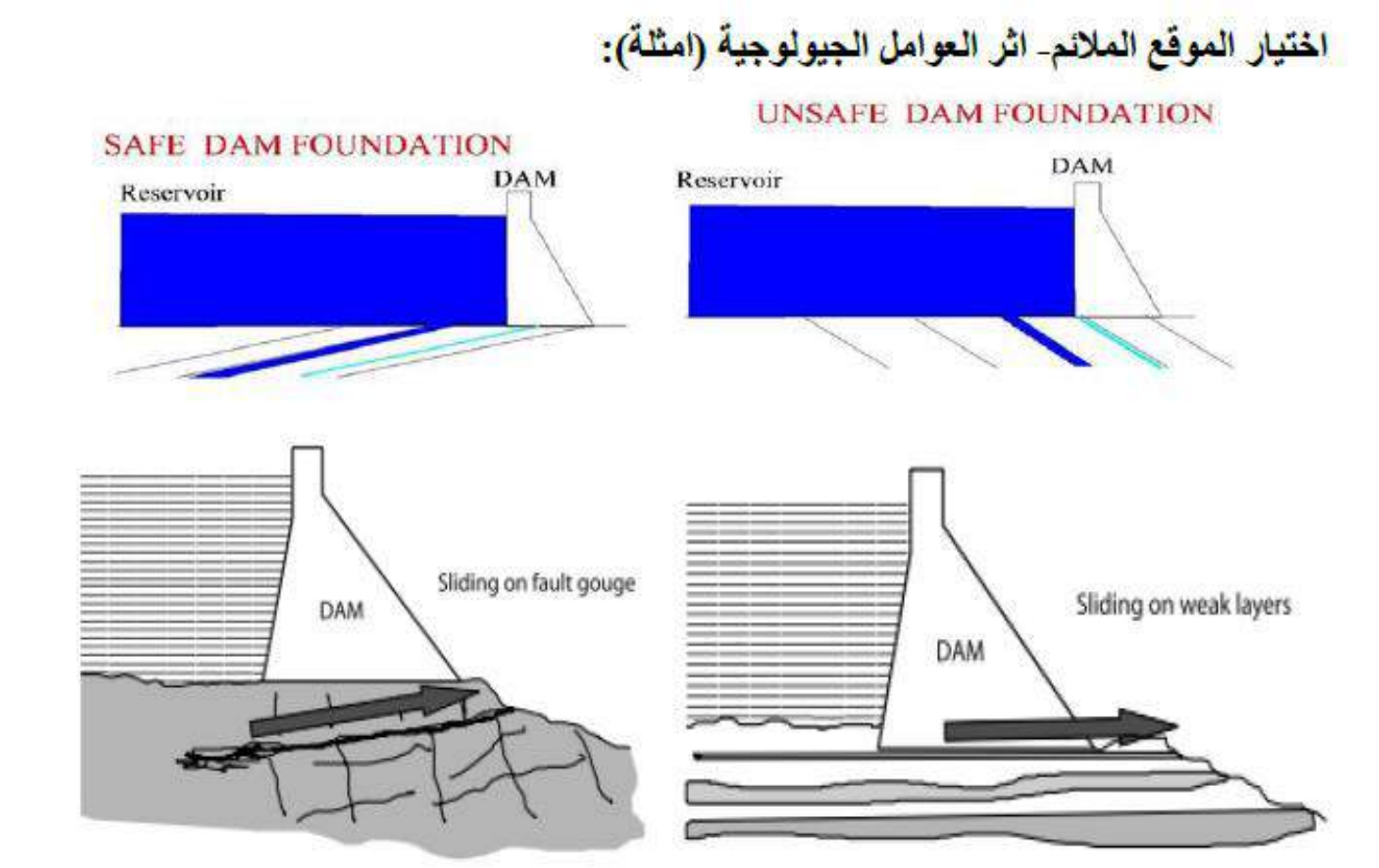
في الشكل رقم 1 فان البناية تستقر على ترسبات طينية قابلة للانضغاط Compressible Clay ذات سمك متماثل فوق صخور صلبة غير قابلة للانضغاط Incompressible rock وفي هذه الحالة فان البناية قد تتعرض الى هبوط **Settlement** متساوي في الارض بحيث لايؤثر عليها.

اما في **الشكل رقم 2** فان عدم تساوي سمك الترسبات الطينية قد يسبب هبوط غير متماثل وبشكل اكبر فوق المنطقة ذات السمك الكبير للطين لذا قد فان البناية قد تميل وقد تتعرض للشقوق **Cracks** لكنها قد لاتتعرض الى اضرار بالغة.

في الشكل رقم 3 فان سمك طبقة الطين اقل في الوسط مقارنة بالاطراف مما قد يسبب هبوط غير متساوي واضرار بالغة في البناية. ان المثال البسيط اعلاه يوضح اهمية المعرفة بالتوزيع الجيولوجي للتربة والصخور تحت سطح اللارض في استقرارية وسلامة التراكيب الهندسية.

Choose the right location

Examples:



Choose the right location

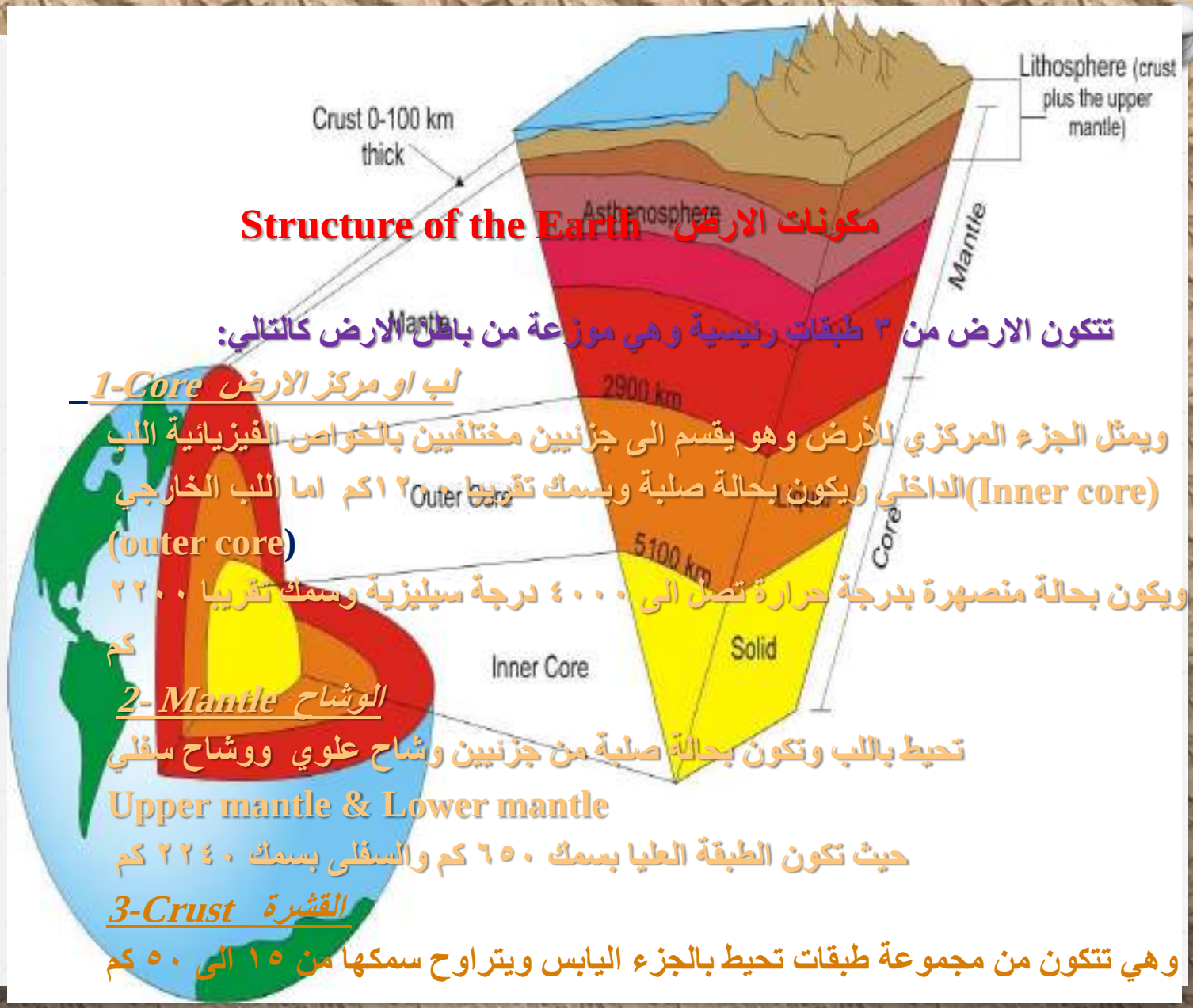
Examples :

تعرض جسر صغير للانهيار بسبب وجود تربة هشة تعرضت للتعرية بفعل المياه

Choose the right location

Examples :

تهدم الطرق نتيجة لتقلص التربة



Structure of the Earth مكونات الارض

تتكون الارض من ٣ طبقات رئيسية وهي موزعة من باطن الارض كالتالي:

1-Core لب او مركز الارض

ويمثل الجزء المركزي للأرض وهو يقسم الى جزئيين مختلفيين بالخواص الفيزيائية اللب الداخلي(Inner core) ويكون بحالة صلبة وبسمك تقريبا ١٢٢٠كم اما اللب الخارجي (outer core)

ويكون بحالة منصهرة بدرجة حرارة تصل الى ٤٠٠٠ درجة سيليزية وسمك تقريبا ٢٢٠٠ كم

2- Mantle الوشاح

تحيط باللب وتكون بحالة صلبة من جزئيين وشاح علوي ووشاح سفلي

Upper mantle & Lower mantle

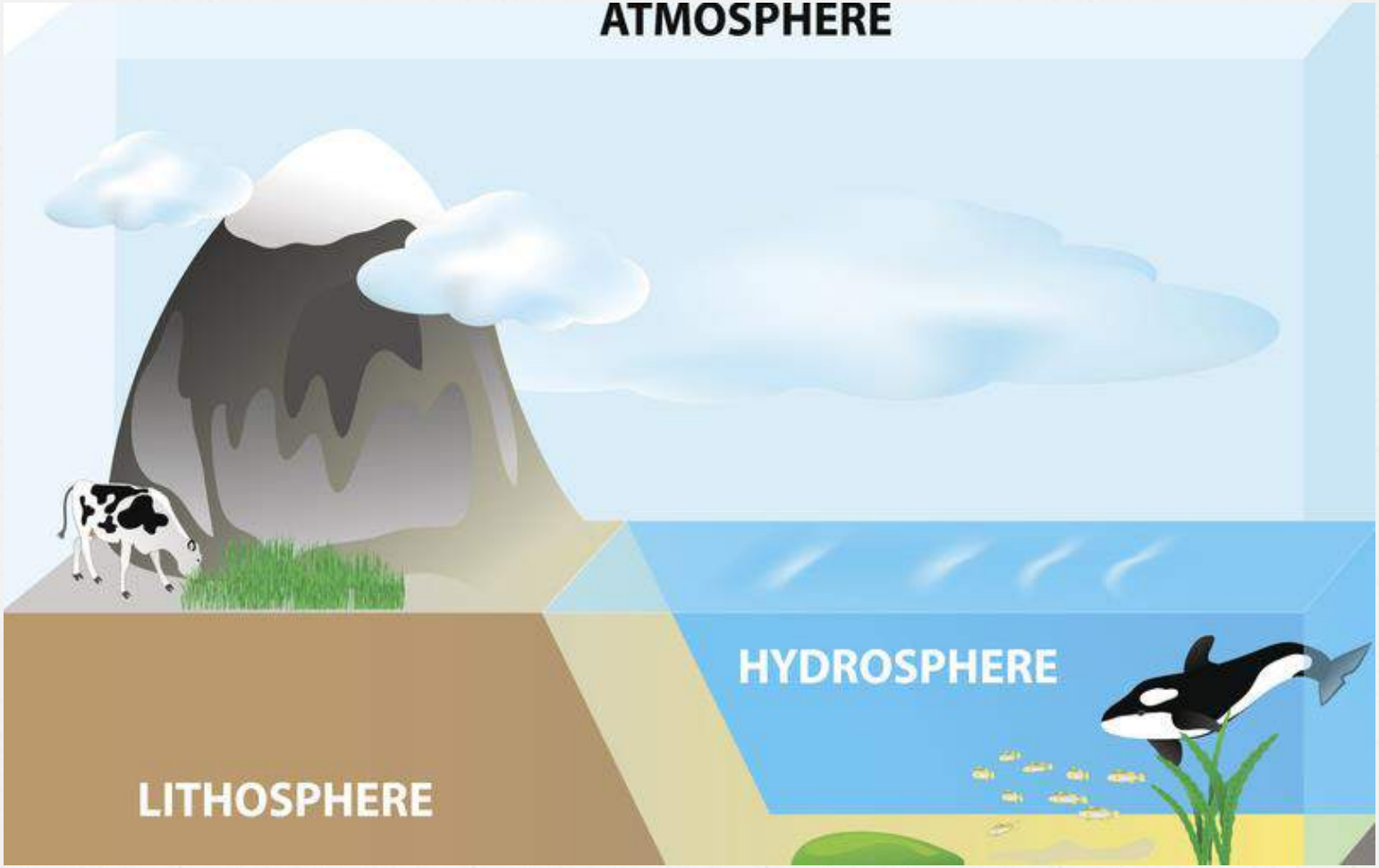
حيث تكون الطبقة العليا بسمك ٦٥٠ كم والسفلى بسمك ٢٢٤٠ كم

3-Crust القشرة

وهي تتكون من مجموعة طبقات تحيط بالجزء اليابس ويتراوح سمكها من ١٥ الى ٥٠ كم

Structure of the Earth *Continue..*

ويحيط الجزء الخارجي من الأرض (Crust) ثلاثة انواع من الأغلفة :



Structure of the Earth *Continue..*

الغلاف اليابس(Lithosphere):

هو الجزء الخارجي الذي يمثل سطح القشرة الأرضية (Soil) او الطبقات العليا التي تتكون منها الأرض ويتم الكشف عن خصائص هذه الطبقات التحت السطح بواسطة الطرق الجيوفيزيائية والابار اما الطبقات السطحية (التربة او الصخور) فتدرس وتحلل مباشرة.

تتكون القشرة الأرضية من انواع مختلفة من الصخور التي يتكون بعضها من معدن واحد او مجموعة معادن او قد يتكون البعض من الصخور من بقايا المواد العضوية ونتيجة لهذا الأختلاف في مكونات الصخور فأنه يؤدي لأختلاف خواص هذه الصخور المختلفة.

Structure of the Earth مكونات الارض

ويمكن حصر الأنواع المختلفة من العناصر المكونة للقشرة الأرضية بأكثر من مائة عنصر تتركب منها المعادن المكونة للصخور بنسب مختلفة حيث يكون الأوكسجين هو العنصر الأساسي حيث يكون متحداً مع غيره من العناصر مكوناً الأكاسيد كما مدرج من الجدول الاتي:

Whole earth		Crust	
Element	Weight Percent	Element	Weight Percent
Iron	32.4	oxygen	46.6
oxygen	29.9	silicon	27.7
Silicon	15.5	Aluminum	8.1
Magnesium	14.5	Iron	5.0
Sulfur	2.1	Calcium	3,6
Aluminum	1.3	Magnesium	2.1
Nickel	2.0	Sodium	2.8
Calcium	1.6	Potassium	2.6
All other, total	0.7	All other, total	1.5

99% من القشرة الأرضية تكونها عشرة عناصر فقط بينما (1%) من وزن القشرة الأرضية لها اهمية اقتصادية مثل الذهب و افضة و النحاس و الرصاص و الزنك و النيكل و الكبريت .

Structure of the Earth مكونات الارض

الغلاف المائي (Hydrosphere) :

يتكون من جميع المياه الموجودة على سطح الأرض سواء أكانت مياه انهار او بحيرات او محيطات او مياه جوفية او الجليد القاري اوالمياه التي تتخلخل في الصخور المسامية او في الفجوات والشقوق في الأنواع الأخرى من الصخور . وهذا الغلاف المائي يغطي حوالي 72% من مساحة الكرة الأرضية . وحركة المياه اما ان تكون سطحية على هيئة امواج او على اعماق مختلفة تسمى التيارات المائية والمد والجزر نوع اخر من التحركات المائية التي ينشأ عنها ارتفاع وانخفاض في مستوى البحر وهذا ينتج من قوة الجذب المتبادلة بين الكرة الأرضية بما فيها من غلاف مائي من جهة والشمس والقمر من جهة اخرى.

الغلاف الجوى (Atmosphere) :

هو الغلاف المحيط بالكرة الأرضية ويبلغ سمكه حوالي (320 km) ويتكون من الأوكسجين وبخار الماء والنتروجين وثاني اوكسيد الكاربون والغازات النبيلة.

ولهذا الغلاف تأثير كبير في تشكيل سطح القشرة الأرضية والسبب في ذلك يعود لكون الأمطار والرياح والثلوج واشعة الشمس موجودة ضمن هذا الغلاف وكلها تعتبر من العوامل الفعالة التي لها القدرة الميكانيكية في التأثير على السطح الخارجي للكرة الأرضية.

End of the first lecture

Engineering Geology
DWE2304

University Of Anbar - College Of Engineering
.Dams and Water Resources Engineering Dep
First Stage

Dr. Rafid Saadoon

المعادن (Minerals) :

هي مركبات كيميائية ذات تركيب بلوري خاص تنشأ من عنصر واحد او اتحاد مجموعة من العناصر مع بعضها بفعل العوامل المختلفة مثل الحرارة والضغط . وبصورة عامة فأن المعادن تتجمع على هيئتان وهذه تشمل :

1 - معادن تتجمع لتكون الصخور (Rocks)
2 - معادن متجمعة على شكل خامات معدنية (Ore)

تكوين المعادن :

هناك طرق طبيعية مختلفة لتكوين المعادن ومن هذه الطرق :

1 - **التبلور المباشر من الصهير (Magma)** : وينتج من هذه المعادن الصخور النارية
2 - **التبلور من محاليل مائية (Aqueous Solution)**: ممكن ان تكون هذه المحاليل موجودة على سطح القشرة الأرضية . فالمعادن التي تتكون بهذه الطريقة سوف تكون الصخور الرسوبية الكيميائية (Chemically Sedimentary Rocks) واذا كان للكائنات الحية دور في تكوين الصخور فأن الصخور الناتجة تسمى الصخور الرسوبية العضوية Organically)

(Sedimentary Rocks ويمكن ان تتكون المحاليل المائية من تأثير الصهير الناري اثناء عملية التبلور وفي هذه الحالة تسمى هذه المحاليل بالمحاليل الصهيرية او المحاليل الحارة (Hydrothermal Solution) والمعادن المتكونة بهذه الطريقة قسم منها يكون ذو قيمة اقتصادية .

3 - **التبلور (Crystallization)** : نتيجة لأعادة ترتيب الذرات في بلورات المعادن السابقة التكون وتتم هذه العملية بأزالة او اضافة بعض الذرات عند تكوين المعدن الجديد فأذا تم هذا التغيير بتأثير الضغط والحرارة العاليين فأن تجمع المعادن المتكونة يؤدي لتكوين الصخور المتحولة .

طريقة تمييز المعادن :

يمكن تمييز المعادن من خلال معرفة خصائص العناصر المكونة لهذه المعادن وهذه الخصائص اما ان تكون خصائص كيميائية او خصائص طبيعية (فيزيائية) او خصائص اشعاعية مثل اليورانيوم وهناك بعض الخصائص التي يتم دراستها بواسطة الميكروسكوب مثل الشكل البلوري والخصائص الضوئية .

الخواص الكيميائية للمعادن (Chemical properties of minerals) :

يمكن ان نتعرف عليها من خلال معرفة التركيب الكيميائي للمعادن ومن خلال معرفة الخصائص الكيميائية لكل عنصر وبالتالي معرفة خصائص الصخرة المكونة من مجموعة من المعادن وبالأعتماد على الخصائص الكيميائية للمعادن (التركيب الكيميائي) فقد صنفت المعادن الى عدة مجاميع :

1 - **المعادن العنصرية (Native elements minerals)** مثل الذهب والفضة واماس والكرافيت .

2 - **الأكاسيد (Oxides)** واشهرها هو اوكسيد السليكون (Sio_2) المكون لمعدن الكوارتز (quartz) واوكسيد الحديد .

3 - **الكبريتيدات (Sulfides)** : تشمل الكثير من المعادن ذات الأهمية الأقتصادية وتكون مركباتها قليلة الذوبان بالماء مثل معدن البايرات (Pyrite) ويكون لونه ذهبي .

4 - **الكبريتات (Sulfates)** : تتكون من محاليل مائية فوق سطح الأرض وأهم أنواعها الجبس (CaSO4.2H2O) والأنهايدرات (CaSO4) .

5 - **الكاربونات (Carbonates)** : تتكون على سطح الأرض مكونة صخور رسوبية كيميائية مثل الكالسايت (Calcite Caco3) والدولومايت ($CaMg(CO3)_2$ Dolomite) .

6 - **الهاليدات (Halides)** : تتبلور من محاليل مائية واشهرها الملح الصخري (NaCl) وهو صخر رسوبي كيميائي .

7 - **الفوسفات (Phosphates)** : تتكون هذه المعادن من تراكم الحيوانات الفقرية ولذلك فهي تعتبر معادن رسوبية عضوية ومثالها معدن الأباتايت (Apatite) .

8 - **السليكات (Silicates)** : تتكون من الصهير الناري (Magma) وتعتبر اكثر المعادن انتشاراً في الكرة الأرضية وبعد تجمع هذه المعادن تتكون الصخور النارية مثل معدن الأوليفين (Olivine) وكذلك معدن الكوارتز (Quartz) .

الخصائص الطبيعية او الفيزيائية للمعادن (Physical properties of minerals) :

توجد العديد من الخواص الفيزيائية التي من خلالها نستطيع تمييز المعادن وهذه الخواص تشمل :

1 - **اللون (Color)**: بعض المعادن لها لون معين مثل اللون الأخضر لمعدن الكلورايت ومن الصعب استخدام هذه الصفة في تمييز المعادن بسبب تغير هذه الصفة حسب نوع الشوائب الموجودة في المعادن وبذلك من الممكن ان تكون المعادن على ثلاثة حالات من ناحية اللون :

a- معادن اصلية اللون مثل الكروم والمغنيسيوم

b- معادن متغيرة اللون مثل الكوارتز الذي قد يكون ذو لون وردي او رمادي او اصفر

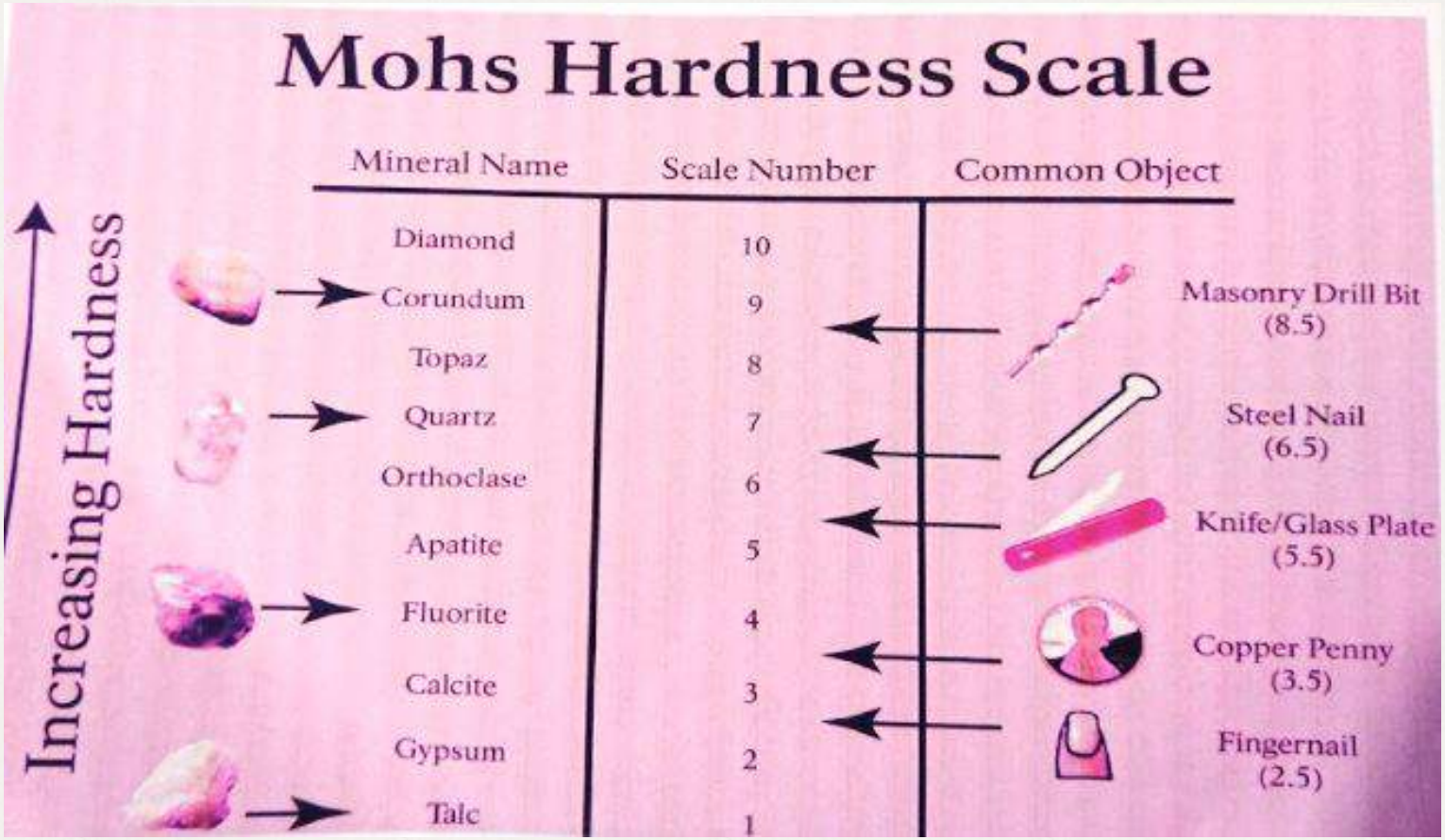
c- معادن كاذبة اللون : هنا توجد العديد من الألوان لبلورة المعدن بسبب احتوائها على شوائب ذات اشكال شريطية .

2 - **البريق (Luster)** : هو شكل او لون المعدن خلال الضوء المنعكس ويتوقف هذا اللون على مقدار الضوء المنعكس من سطح المعدن. وبصورة عامة يمكن تقسيم المعادن حسب البريق الى قسمين

a - معادن لها بريق مثل الكوارتز

b - معادن ليس لها بريق (معتمة)

3 - **الصلابة (Hardness)** : هو قدرة المعدن على مقاومة الخدش وتقاس بالمقارنة مع صلابة معادن قياسية اخرى معروفة الصلابة وضعت من قبل العالم موه (Moh) وترتيب هذه المعادن حسب درجة صلادتها كما موضح في الجدول التالي



4 - **التشقق (Cleavage)** : هو قابلية المعدن على الأنفصال في مستويات معينة نتيجة الحرارة والضغط او الطرق , والمستويات التي ينفصل اليها المعدن تسمى مستويات التشقق ومثال على ذلك هو تشقق معدن المايكا (Mica) الى مستويات على شكل صفائح رقيقة في اتجاه واحد وبشكل عام **هناك ثلاث درجات من تشقق المعادن وهي كامل التشقق وجيد التشقق وغير كامل التشقق** .

5 - **تكسر المعدن (Fracture)** : هو الشكل الذي تأخذه الأسطح الخارجية للمعدن اثناء تكسرها , فقد يكون السطح الناتج عن الكسر مستوياً او خشناً او منحنياً , وان الكسر الجديد للمعدن يمثل اللون الحقيقي للمعدن .

6 - **الوزن النوعية (Specific gravity)** : هو النسبة بين وزن حجم من مادة المعدن (mineral) في الهواء الى وزن نفس الحجم من الماء بدرجة حرارة معينة . واغلب المعادن لها وزن نوعي يتراوح بين (7 – 2) ومن المهم ان نعرف ان الوزن النوعي (G_S) هي قيمة عددية بدون وحدات قياس .

7 - **الخواص المغناطيسية للمعدن (Magnetic properties)** : هو قابلية المعدن للأنجذاب نحو احد اقطاب المغناطيس وتنافره مع القطب الاخر ومثال على ذلك هو معدن (Magnetite) الذي يملك خواص مغناطيسية .

8 - **درجة حرارة الأنصهار** : هي درجة الحرارة التي يتحول عندها المعدن من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة وتعتمد درجة الأنصهار للمعادن على التركيب الأيوني للمعدن .

9 - **الخواص الكهربائية للمعدن (Electric properties)** : وتحدد هذه الخاصية قابلية المعدن على امرار التيار الكهربائي وتختلف بأختلاف المعدن.

10 - **الذوبان** : هو قابلية المعدن للذوبان بالماء ومثالها معدن الهالايت او ملح الطعام (Halite) وكل معدن له درجة ذوبان خاصة .

الخواص الضوئيه للمعادن : Optical minerology

للمعادن المتبلورة خصائص ضوئية ثابتة من ناحية الأنعكاس والأنكسار للضوء المار خلال هذه المعادن وتحلله داخل اجسام البلورات ولهذا فالخصائص الضوئية تعتبر ذات اهمية كبيرة في تمييز المعادن عن بعضها عند فحصها بالميكروسكوب ومن اهم هذه الخصائص الضوئية هي الأنكسار . ويكون على نوعين :

1 - **انكسار منفرد** : عند سقوط شعاع ضوئي على سطح معدن فأن الشعاع عند مروره من الهواء الى داخل المعدن سوف ينكسر مما يؤدي لأنحراف مسار الشعاع . ولكل معدن معامل انكسار ثابت ويحسب معامل الأنكسار بواسطة قانون سنل :

Reflection Coefficient (R) = Sin i / Sin r

معامل الأنكسار = جيب زاوية السقوط/ جيب زاوية الأنكسار

ومعمل الانكسار يكون ثابتاً للمعدن الواحد مهما اختلفت زاوية السقوط. ويختلف هذا المعامل باختلاف المعادن. فمعامل الانكسار لمعدن الزركون يساوي 1,93 وتتراوح قيمة معامل الانكسار لمعدن الكوارتز من 1,553 إلى 1,544 أما معامل الانكسار لمعدن الفلورايت فيساوي 1,43 .

2 - **انكسار مزدوج** : هو انكسار الشعاع الساقط الى شعاعين بزاويتين مختلفتين **Double Reflection**

End of the second lecture

الصخور (Rocks) :

تتكون الصخور من معدن واحد او اتحاد مجموعة من المعادن مع بعضها ويختلف عدد هذه المعادن المتحدة بأختلاف نوع الصخور وقد تتكون هذه الصخور من تراكم بقايا مواد عضوية متحللة . وكل انواع الصخور بالطبيعة تتواجد بهيئة ثلاث اشكال رئيسية هي :

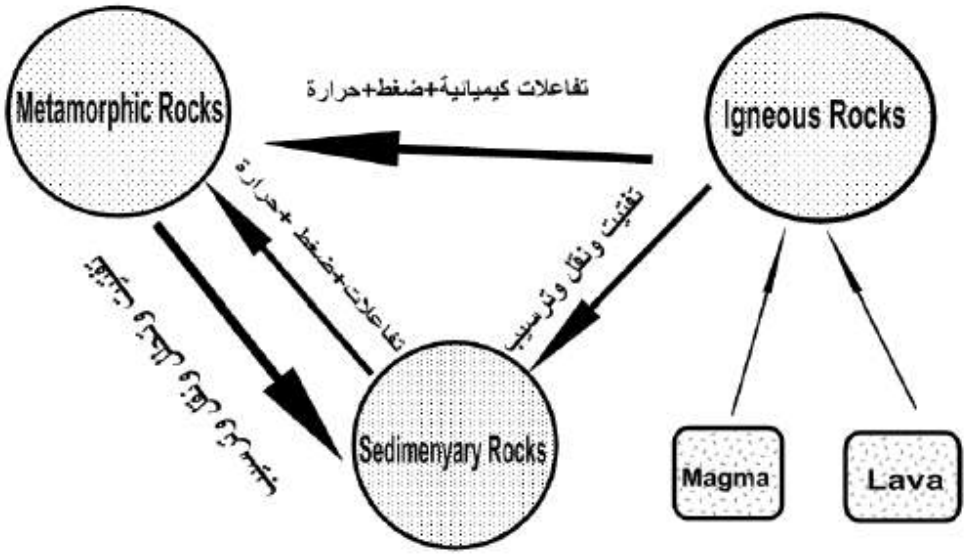
1 - الصخور النارية (Igneous Rocks)
2 - الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks)
3 - الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks)

الصخور النارية اكثر انواع الصخور انتشاراً واكثرها صلابة حيث انها تكون تقريباً 95% من الكرة الأرضية اما بقية انواع الصخور فهي قليلة اذا ما قورنت بالصخور النارية التي تعتبر الأصل في تكوين

الكرة الأرضية لأنها تكونت نتيجة التبريد الذي تعرضت له المواد المنصهرة (Magma) فكونت الغلاف الصخري (Basement rocks) الأصلي للقشرة الأرضية . وهذه الصورة تتكرر تبعاً لأنبثاق المواد المنصهرة من باطن الأرض من خلال الشقوق والفوهات البركانية والتي قد تصل الى سطح الأرض او قد تتجمع داخل القشرة الأرضية ثم تبرد وتتصلب مكونة الصخور النارية .

اما **الصخور الرسوبية** فأنها تتكون نتيجة التفتت والتحلل الذي تتعرض له الأنواع الأخرى من الصخور وقد تبقى هذه الصخور في اماكن تفتتها اوتحللها او تتعرض لعوامل تعمل على نقلها لأماكن اخرى غير الأماكن التي تحللت وتفتت فيها

الصخور المتحولة : اصلها من الصخور النارية او الرسوبية او المتحولة سابقاً نتيجة لتعرض اي من هذه الصخور للحرارة والضغط الشديدين او نتيجة للتعرض للتفاعلات الكيميائية والصخور الناتجة لها خواص تختلف من الصخور الأصلية .



Rock Cycle

الصخور النارية (Igneous rocks) :

الأصل في تكوين الصخور النارية هو وجود المواد المنصهرة داخل القشرة الأرضية على اعماق مختلفة كبيرة والتي تندفع خلالها اما الى سطح الأرض خلال فوهات البراكين ثم تبرد هذه المواد النارية السطحية مكونة الصخور النارية السطحية واما انها لا تصل الى السطح الخارجي للقشرة الأرضية وانما تبرد تحت القشرة الأرضية مكونة الصخور النارية الجوفية , ان المواد المنصهرة تتكون اساساً من معدن السليكا وبعض العناصر الأخرى مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم . ونسبة السليكا في الصخور النارية تتراوح بين 40%-80% .

تصنيف الصخور النارية (Classification of Igneous Rocks) :

توجد عدد من التصانيف التي تعتمد على أسس مختلفة, واختلاف التصنيف يعتمد على الغرض من الدراسة وهذه التصانيف تشمل :

1 - **التصنيف المعتمد على نسبة معدن السليكا (Sio_2) (Silica ratio)** : ان اختلاف نسبة معدن السليكا ضمن الصهير يؤدي لأختلاف حامضية الصخور الناتجة من تبريد هذا الصهير .
وبالأعتماد على هذا التصنيف يمكن تقسيم الصخور النارية الى :

a - **صخور نارية حامضية (Acidic Igneous Rocks)** : الصخور النارية الحامضية لها نسبة سليكا اكبر من 65% ويكون لون هذه الصخور فاتح كذلك فأن الكثافة لهذه الصخور منخفض يصل الى $2.7gm/cm^3$ وتتميز هذه الصخور بأحتواءها على نسبة عالية من معدن الكوارتز والفلدسبار الغني بالبوتاسيوم (Alkali Feldspars) . ومن اهم الصخور النارية الحامضية هي صخرة الكرانيت (Granite) التي لها استخدامات هندسية كثيرة .

b - **صخور نارية متوسطة الحامضية (Intermediate Igneous rocks)** : لها نسبة سليكا بين 55% الى 65% .مثل صخرة (Diorite) .

c - **صخور نارية قاعدية (Basic Igneous Rocks)** :لها نسبة سليكا تتراوح بين 55% الى 45% مثل صخرة البازلت (Basalt) ولهذه الصخور لون داكن وكثافة تصل الى $3gm/cm^3$ اعلى من الصخور الحامضية

d - **صخور فوق قاعدية (Ultra basic Igneous Rocks)** : لها نسبة سليكا اقل من 45% وتحتوي هذه الصخور على معادن غامق ولها كثافة تصل الى $3.2gm/cm^3$ ومن اهم صخور هذه المجموعة هي صخور البريدوتايت (Peridotite)

2-التصنيف المعتمد على حجم الحبيبات (البلورات) او النسيج (Texture) : يعتمد هذا التصنيف على حجم بلورات المعادن وعلى معدل الأنخفاض بدرجات الحرارة وعلى موقع التبلور وبالأعتماد على هذا التصنيف تقسم الصخور النارية الى :

a- صخور نارية عديمة التبلور او ذات نسيج زجاجي (Igneous Rocks with glassy Texture): يكون موقع تبلور هذه الصخور على سطح الأرض فقط ولذلك يكون معدل الأنخفاض بدرجة الحرارة سريع جداً ومن اهم انواع هذه الصخور هي الأوبسيديان (Obsidian)

b- صخور نارية ناعمة الحبيبات او النسيج (Igneous Rocks with fine grains size) : تكون ذات حجم بلوري يتراوح بين 4mm الى 1mm ويكون موقع تبلور هذه الصخور على سطح الأرض او على عمق قريب من سطح الأرض ولذلك يكون معدل الأنخفاض بدرجة الحرارة سريع جداً ومن اهم انواع هذه الصخور هي البازلت (Basalt)

c- صخور نارية خشنة الحبيبات (Igneous Rocks with coarse grains size): تكون ذات حجم بلوري اكبر من 5mm ويكون موقع تبلور هذه الصخور في اعماق كبيرة داخل الأرض ويكون معدل الأنخفاض بدرجة الحرارة قليل جداً ومن هذه الصخور هي الكابرو (Gabbro)

d- صخور نارية ذات نسيج فقاعي (Vesicular) : يكون نسيج هذه الصخور زجاجي مع احتواءه على فقاعات وسبب هذه الفقاعات هو هروب او خروج الغازات من الصهير بعد عملية تبلور المعادن المكونة لهذه الصخور ومن هذه الصخور هي السكوريا (Scoria)

e-صخور نارية ذات نسيج بورفيري (Porphyritic texture) : يتكون نسيج هذه الصخور من حبيبات ناعمة وخشنة وسبب هذا النوع من نسيج الصخور هو تبلور المعادن المكونة للصخور في جوف الأرض وعلى سطحها

3-التصنيف المعتمد على موقع التبلور (location of crystalization): بالأعتماد على هذا التصنيف يمكن تصنيف الصخور النارية الى:

a - صخور نارية بلوتونية اوالمتداخلة (الجوفية): (Plutonic Igneous Rocks or Intrusive):
تتكون هذه الصخور من تبلور الصهير الناري في جوف الأرض ويسمى الصهير الناري في جوف الأرض **(magma)** وتكون ذات حبيبات خشنة بسبب الأنخفاض التدريجي بالحرارة مثل صخور (Granite),(Gabbro)

b - **صخور نارية بركانية او سطحية (Volcanic Igneous Rocks or Extrusive)** يكون موقع تبلور هذه الصخور على سطح الأرض في اثناء خروج الصهير البركاني على سطح الأرض بواسطة البراكين ويسمى الصهير الناري على سطح الأرض **(Lava)** كذلك تكون الصخور الناتجة ذات نسيج (Texture) او بلورات ناعمة او تكون عديمة التبلور (Glassy texture) بسبب الأنخفاض السريع بدرجات الحرارة واهم انواع هذه الصخور هي (Obsidian),(Basalt).

c - **صخور نارية تحت سطحية (Hypabyssal Igneous Rocks)**: يكون تبلور هذا النوع من الصخور تحت سطح الأرض وعلى اعماق قريبة من سطح الأرض ويكون نسيج هذه الصخور اما ناعم (Fine grain texture) او ذات نسيج بورفيري (Porphyritic texture)

الاشكال البنائيه للصخور النارية (Mode of occurrence):

تتواجد الصخور النارية على سطح الأرض وفي داخل جوف الأرض بهيئات مختلفة من حيث الشكل الهندسي وحجم الأمتداد الجغرافي وبالأعتماد على هذه الأسس يمكن تقسيم الأشكال البنائية للصخور النارية الى عدة اقسام :

1 - **اللوبولث (Lopolith)**: هو جسم ناري متداخل تحت سطح الأرض ضخم يمتد لأكثر من 100km ويكون مقعر الشكل

2 - **الباثولث (Batholith)**: هو جسم ناري متداخل تحت سطح الأرض ضخم يمتد لأكثر من 100km ويكون محدب الشكل ويتكون بصورة رئيسية من صخور الكرانيت

3 - **اللاكولث (Lacolith)**: هو جسم ناري متداخل تحت سطح الأرض صغير يكون ذو قطر 2km- 3km ويكون محدب الشكل ويؤدي هذا التحدب الى تحدب الصخور الرسوبية الفوقية

4 - **الفاكولث (Phacolith)**: هي اجسام نارية متداخلة صغيرة تحت سطح الأرض وتكون على شكل سلسلة من الأجسام التي تكون على شكل تحدب وتقعر تشبه تراكيب الطيات (crest and trough of fold strata)

5 - **السدود النارية (Silts)**: هي عبارة عن طبقات من الصخور النارية المتداخلة التي تكون افقية او مائلة بزاوية بزاوية قليلة من الوضع الأفقي مع الطبقات الرسوبية المحيطة بهذه الأجسام وتكون ذات احجام مختلفة

6 - **القواطع النارية (Dykes)**: هي عبارة عن اجسام نارية متداخلة وعمودية او شبه عمودية مع الصخور المحيطة ويؤدي هذا الوضع لقطع الصخور الرسوبية المحيطة بهذه الأجسام

7 - **الشرايين النارية (Veins):** هي اجسام نارية متداخلة صغيرة وغير منتظمة وتملأ التشققات التي قد تتواجد داخل القشرة الأرضية

8 - **انسياب اللافا (Lava flow):** تتواجد هذه الأجسام النارية على سطح الأرض نتيجة انبثاق البراكين

9 - **العنق البركاني (Volcanic neck)** : يكون هذا الشكل جزء من الشكل الهندسي لخروج البراكين على سطح الأرض

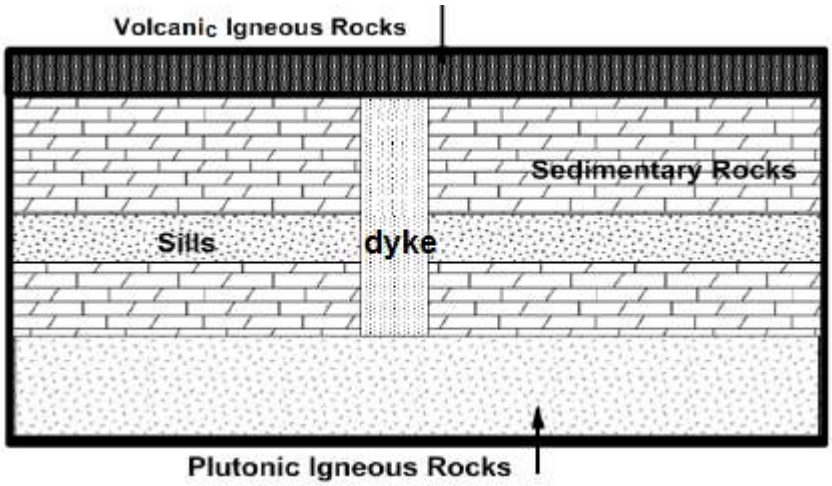


Figure Show volcanic rocks, sills and dycke

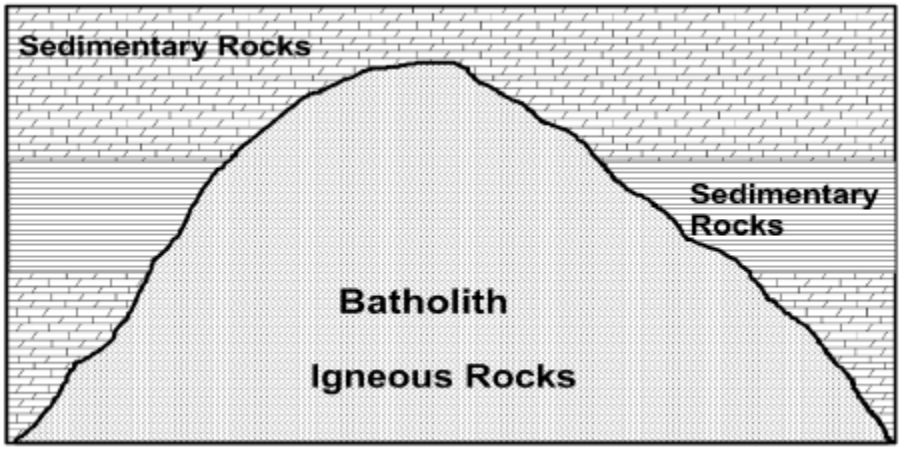


Figure Shows Batholith

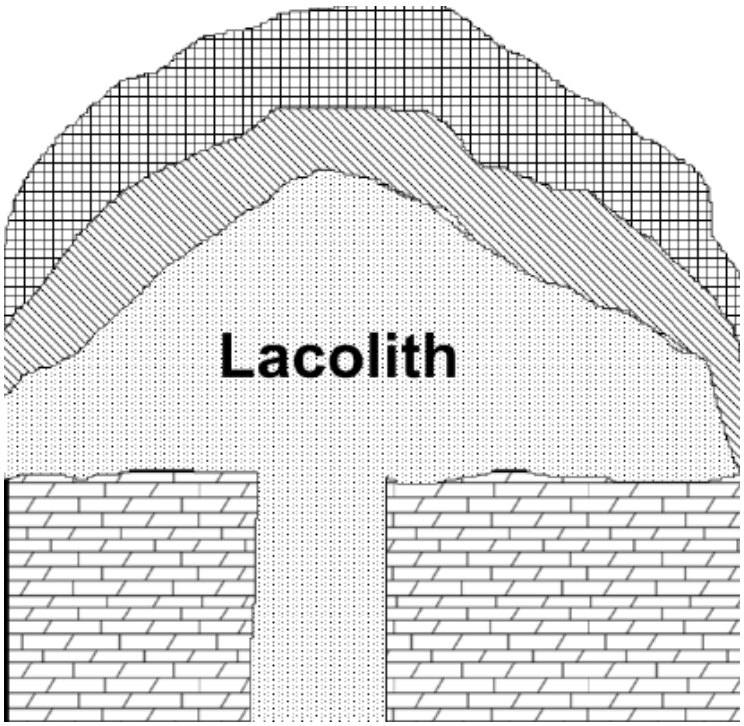


Figure shows Lacolith

وصف الصخور النارى الشائعة (Describtion of common rocks):

1 - **الكرانيت (Granite)**: هي صخرة نارية جوفية ذات نسيج خشن (Coarse grained rock) وحامضية وتكون ذات لون فاتح واهم المعادن المكونة لهذه الصخور هي (60%feldspare, 30%quartz, 10%ferromagnesian minerals)

2 - **الرايوليت (Rhyolite)**: هي صخرة نارية تشبه صخرة الكرانيت من ناحية التركيب المعدني ولكنها تختلف عنها حيث تكون هذه الصخرة سطحية (Volcanic rock) وذات نسيج ناعم (Fine grained rock)

3 - **البيومس (Pumice)** : صخرة نارية سطحية ذات نسيج زجاجي (Glassy texture) وذات لون فاتح (حامضية)

4 - **الكابرو (Gabbro)** : صخرة نارية جوفية ذات نسيج خشن (Coarse grained texture) وتكون ذات لون غامق لأنها تتكون من معادن قاعدية

5 - **البازلت (Basalt)**: من اهم الصخور النارية القاعدية السطحية والتي تتكون ذات نسيج ناعم (Fine grained textue)

6 - **الدونايت (Dunite)** :هي صخرة نارية فوق قاعدية وتكون جوفية وذات نسيج خشن جداً

Differences between Granite, Basalt, Rhyolite and Gabbro Rocks

Granite	Basalt	Gabbro	Rhyolite
لون فاتح (light color)	لون غامق (dark color)	لون غامق (dark color)	لون فاتح (light color)
Low density	High density	High density	Low density
Coarse grains size (coarse texture)	Fine grains size (fine texture)	Coarse grains size (coarse texture)	Fine grains size (fine texture)
Plutonic Rock (صخرة جوفية)	Volcanic rock (صخرة بركانية)	Plutonic rock (صخرة جوفية)	Volcanic rock (صخرة بركانية)
Acidic rock (صخرة حامضية)	Basic rock (صخرة قاعدية)	Basic rock (صخرة قاعدية)	Acidic rock (صخرة حامضية)

Differences between Dunite and Pumice rocks

Dunte rock	Pumice rock
Plutonic rock	Volcanic rock
Coarse grains size (coarse texture)	Glassy texture
Ultra basic rock صخرة فوق قاعدية	Acidic rock صخرة حامضية
Dark color لون غامق	Light color لون فاتح
High density	Low density

الخواص العامة للصخور النارية (General properties of igneous rocks) :

1 - تتواجد على شكل كتل صخرية ضخمة لها اشكال متعددة

2 - اغلب الصخور النارية تتكون من معادن متبلورة

3 - احتواء الصخور النارية على خامات معدنية

4 - تكون اصلب انواع الصخور

5 - لاتحتوي على حفريات

6 - تتكون من الصهير الناري

الأستخدامات الهندسية لبعض الصخور النارية المهمة :

الكرانيت (Granite) والبازلت (Basalt): لهذه الصخور اهمية كبيرة في الأعمال الأنشائية لما تتمتع به هذه الصخور من صلابة وقوة تحمل للضغوط ومقاومتها للضروف الجوية وكذلك تتمتع هذه الصخور بقابلية صقل ممتازة مما يكسبها شكل ولون جميل . وبسبب كلفةهذه الصخور العالية فأنها فقط تستخدم للأغراض المهمة مثل التغليف ودعامات الجسور والمنشآت البحرية كذلك بسبب قوة تحمل هذه الصخور للتجوية الكيميائية والصلادة العاليةَ فأن كسارات هذه الصخور تستخدم في رصف الطرق .

الصخور الرسوبية والمتحولة

Sedimentary and Metamorphic Rocks

الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks) :

تتكو ن الصخور الرسوبية نتيجة عمليات ثانوية وتغيرات تحصل على الصخور بعد عمليات تكوينها . ويغطي هذا النوع من الصخور الجزء الخارجي من القشرة الأرضية .

العمليات المؤدية لتكوين الصخور الرسوبية :

1 - **التجوية (Weathering)** :هو تكسر الصخور الأصلية السابقة التكوين وتفتتها تحت تأثير النشاط الميكانيكي او الكيميائي للأمطار او المياه السطحية او الأختلاف الدوري بدرجات الحرارة .

2 - **النقل (Transportation)** : يتم نقل المواد المفتتة بواسطة عملية التجوية على شكل (حبيبات صغيرة او مواد عالقة دقيقة غير قابلة للذوبان بالماء او على هيئة محاليل) بواسطة الماء او الرياح وتسمى المادة المنقولة بواسطة الماء والرياح بالرسوبيات (sediments)

3 - **الترسيب (Sedimentation)** : تتجمع المواد المنقولة على هيئة رواسب فوق بعضها البعض مكونة طبقات صخرية او رسوبيات متعاقبة .

4 - **تماسك وتصلد (Cementation)** : تتماسك هذه المواد المفتتة او الرواسب (Sediments) بواسطة التحام مكوناتها (Cementation) واهم اماكن الترسيب هي البحار والمحيطات والأنهار والأماكن المنخفضة من اليابسة .

وتحدث عمليات التماسك او التصلد (Cementation) بين الحبيبات المكونة للرسوبيات والتي تؤدي لتكوين الصخور الرسوبية بواسطة عدة عوامل:

a - **(Compaction)** : هوالضغط المسلط من ثقل الرسوبيات فوق بعضها البعض والتي تؤدي الى تماسك هذه الرسوبيات مكونتاً طبقات عديدة من الصخور الرسوبية ويحدث هذا النوع من التماسك او التصلد للصخور الرسوبية الميكانيكية .

b - **(Cementation)** : هو ترسيب مواد معدنية بين الحبيبات المكونة للرسوبيات والتي تعمل عمل المادة اللاحمة (Cement material) لهذه الرسوبيات واهم المواد اللاحمة هي الأملاح واكاسيد الحديد والسليكا وكاربونات الكالسيوم والعامل الرئيسي المسيطر على هذه المواد اللاحمة ه و الماء

انواع الصخور الرسوبية حسب طريقة التكوين Classification of sedimentary rocks by method of formation

1 صخور رسوبية الطبيعية او الميكانيكية :تكونت نتيجة تراكم مواد مفتتة نقلت و ترسبت بفعل المياه او الرياح.

2 صخور رسوبية كيميائية :تكونت نتيجة تبخر المحاليل الموجودة بداخل المعادن مما ادى الى تراكم المواد المعدنية.

3 صخور رسوبية عضوية : تكونت نتيجة تراكم المواد الصلبة التي خلفتها الحيوانات و النباتات.

الصخور الرسوبية الميكانيكية Mechanical Sedimentary Rocks

تكون على صورتين صخور غير متماسكة او صخور متماسكة

1. صخور غير متماسكة: تكون حبيبات هذه الصخور غير متماسكة)حبيبات مفككة ذات احجام مختلفة (مثل الجلمود و الحصى و الطمى و الرمل و الطين و هذه لها اهمية كبيرة في اعمال الهندسة المدنية.

الجلمود و الحصى (Gravel) لا يقل قطرها عن 2 ملمتر و عادة هذه القطع هي الجرانيت او الصوان و ينشأ هذا النوع من الرواسب على شواطى البحار نتيجة تفتت الصخور القريبة من الشاطى نتيجة الامواج او السفن البحرية المارة و كما بالشكل ادناه.

جلمود

حصى

الرمل و الطمى Sand and Silt و ينقسم حسب احجام الحبيبات الى رمل (خشن, متوسط، ناعم (تتكون معظم الحبيبات من الكوارتز و قد تاخذ الحبيبات شكلا كرويا او شبه

كروي قد تكون مستديرة الاركان او حادة الاركان و حسب ظروف تكوينها و نقلها و قد

تحتوي في معظم الاحيان على الكوارتز او الفلسبار او الميكا و اذا وجد معدن الماجنتيت Magnetite Fe3O4في الرمل اعطاءه اللون الاسود كما بالشكل ادناه.

غرين رمل

الطين Clay: حبيباته دقيقة جدا لا يمكن ان ترى بالعين المجردة و تكونت من تفتت سليكات الالومنيوم و قد يحتوي على بعض المعادن الاخرى مثل الميكا و الكوارتز واكاسيد الحديد و

المنغنيز. فقد يكتسب الطين لون احمر او اصفر او اخضر او اسود عند احتواءه على بقايا مواد

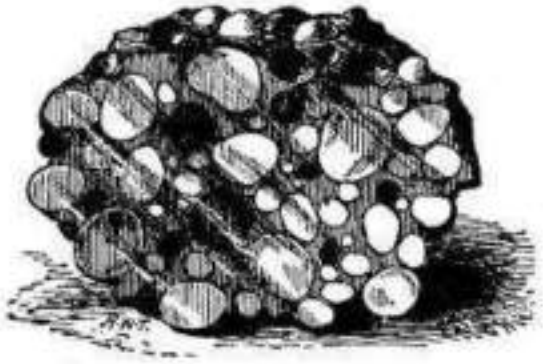
عضوية متحللة. قوة تماسك الطين تعتمد على ما يحتويه من نسبة الماء فكلما انخفضت نسبة الماء به كلما اكتسب قوة و اذا تماسكت الحبيبات على هيئة صفائح فان الصخر في هذه الحالة تسمى صخر صفحي كما بالشكل ادناه.

2صخور متماسكة Rock solid

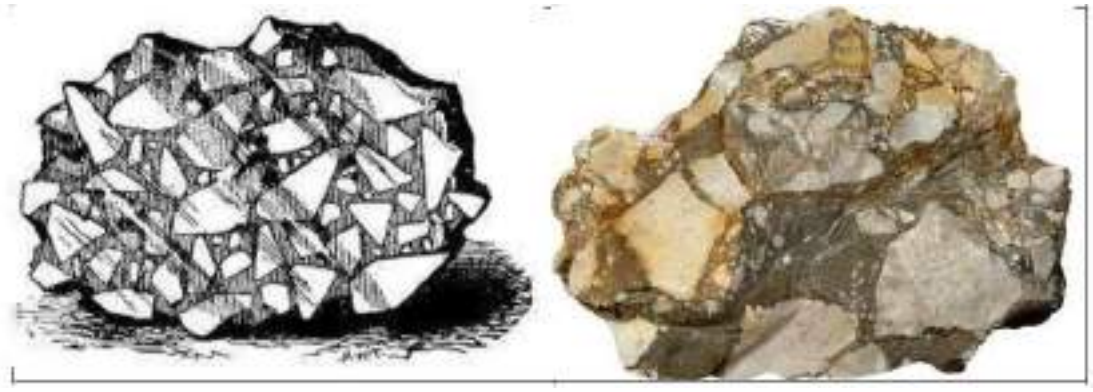
من تلك الصخور هي - (Conglomerate): :الكنجلوميرات

هذا النوع من الصخور يتكون عندما تتماسك حبيبات

الجلمود او حصى بواسطة مادة لاحمة(سوى كانت حديدية، جيرية، جبسية)تملأ الفراغات التي توجد بين الحبيبات .و يلاحظ ان حبيبات الجلمود و الحصى تكون مستدارة بسب تعرضها للرياح و المياه و كما ملاحظ بالشكل ادناه.



بريشا **Breccia** عبارة عن كتل صخرية مكسرة و مفتتة) جلمود و حصى (ذات اركان حادة تماسكت مع بعضها بواسطة المعادن التي نتجت عن تبخر المحاليل و كما بالشكل ادناه.



- **الحجر الرملي Sandstone** :عبارة عن تماسك حبيبات الرمل بواسطة مادة لاحمة .فاذا كانت حبيبات الرمل المتلاحمة ذات احجام مختلفة بحيث تكون الفراغات بين تلك الحبيبات صغيرة و يزداد التداخل ففي هذه الحالة يكون الصخر اكثر صلابة. كذلك كلما كانت اركان

الرمل مستدرة كلما كان تداخل اكثر و زيادة بالصلابة. و هنا المادة اللاحمة او التي تحدث التماسك قد تكون السيليكا او اكاسيد الحديد او مادة جيرية او جبسية او مواد طينية.

الصخور الرسوبية الكيميائية

من انواع الصخور الرسوبية الكيميائية هي الملح و الجبس و هي عبارة عن رواسب تكونت نتيجة عملية التبخر التي تحدث في مياه البحيرات المالحة، فاذا وجد الملح و الجبس في المياه فان الجبس يترسب اولا مكون الطبقة السفلى ثم بعد ذلك يترسب الملح مكون الطبقة العلوية و تكون تلك الرواسب بيضاء اذا كانت نقية و تكون لتلك الصخور في العادة الوان بسب وجود الشوائب و كما بالشكل ادناه.

الجبس

الصخر الملحي

و يوجد نوعين من الرواسب الكيميائية هما الاستلاكتيت و الاستلاجميت و تكون عبارة عن اعمدة في اسقف الكهوف و على ارضياتها و تلك ترسبت من المياه الارضية الحاوية على بيكربونات الكالسيوم و توجد بعض الرواسب التي تكونت حول الينابيع المعدنية الحارة تسمى السيليسية.

الصخور الرسوبية العضوية و توجد عدة انواع من تلك الصخور

- الصخور الجيرية العضوية: من اكثر الصخور الجيرية انتشارا و تكون نتيجة لتراكم بقايا النباتات و الحيوانات الحاوية على كربونات الكالسيوم او الجير و مع مرور الزمن و الضغط تتحول الى الاحجار الجيرية و منها الطباشير الذي يتميز بلونه الابيض و قلة صلابته و كما بالشكل ادناه.

- الفوسفات: يتكون من تراكب فوسفات الكالسيوم مع مواد اخرى حيث انه يتكون في البداية من تراكم عظام الحيوانات ثم تتحول الى فوسفات الكالسيوم و كما بالشكل ادناه.

- الفحم الحجري و الرواسب النباتية: الرواسب النباتية تكونت من اصل نباتي ترسبت في المستنقعات و تحتوي على نسبة عالية من الكاربون. اما الفحم الحجري فيوجد بين الطبقات الرملية و الطينية و هو صخر اصم حالك السواد سهل الكسر و فيه نسبة الكاربون بين 75% الى 90%.

الصخور المتحولة Metamorphic rocks

و هي صخور تكونت نتيجة لتعرض الصخور النارية او الرسوبية لبعض العوامل الخارجية مما ادى الى ان تلك الصخور فقدت صفاتها الاصلية و اكتسبت صفات اخرى و هذه العملية تسمى التحول.

اهم العوامل الخارجية التي تؤدي للتحول

1. تعرض الصخر الاصلي لحرارة مرتفعة جدا) التحول الحراري او التماسي(. و ينتج هذا التحول عند تماس الصخور الاصلية مع مواد منصهرة ساخنة حيث تدخل و تتغلغل تلك المواد خلال مسامات و شقوق الصخرة الاصلية الحاوية على السوائل)الماء(و بعض الغازات مما يؤدي الى تسخينها و يساعد ذلك على اذابة بعض المعادن و تغيير التركيب الكيمائي لها و عندما تبرد تتبلور و تنتج معادن جديدة.

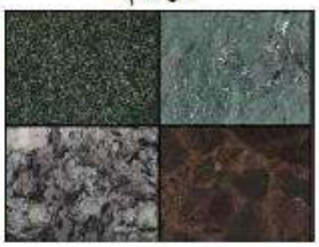
2. تعرض الصخر الاصلي لعوامل الضغط المختلفة حيث يتولد ذلك الضغط من تحركات القشرة الارضية مما يؤدي الى تولد اجهادات في الصخور الاصلية و بالتالي حصول انثناء او التواء او تكسر في مناطق دون اخرى مؤديا ذلك الى التحول و تكون صخور لها نسيج جديد تأخذ فيه المعادن شكل صفائحي.

3 تعرض الصخر الاصلي لعوامل الضغط و الحرارة :و تحدث هذه الظاهرة عند تعرض القشرة الارضية لانكماشات و تقلصات على نطاق واسع و بالتالي تحدث تفاعلات داخلية في جوف الارض.

4 قد يتم التحول نتيجة لتعرض الصخر الاصلي لعوامل كيميائية.

اهم انواع الصخور المتحولة

الكوارتزيت	ينتج هذا النوع من الصخور من تعرض صخر الحجر الرملي الى الحرارة الشديدة فحدث التحول الحراري و غالبا ما يتكون هذا الصخر المتحول من حبيبات الكوارتز التي اعيد تبلورها مرة ثانية و يؤدي ذلك الى التحام البلورات مع بعضها البعض .

الرخام 	ينتج هذا النوع من الصخور من تعرض صخر الحجر الجيري الى الحرارة الشديدة فحدث التحول الحراري و ينتج عن ذلك صخر ذو نسيج حبيبي متوسط او دقيق بحيث تتوقف حجم الحبيبات على طول الفترة الزمنية للتحول. و يتوقف لون الرخام على ما يحتويه الحجر الجيري الاصلي من شوائب.
الاردواز	ينتج هذا النوع من الصخور من تعرض الصخر الطيني الى الحرارة و الضغط و يكون نسيجه حبيبي دقيق جدا لا يرى بالعين المجردة و يميل الصخر الى الانفصال في طبقات رقيقة و صفائح بسب تبلوره اثناء التحول.
	ينتج هذا النوع من الصخور من تعرض الصخور الرسوبية او النارية الى العوامل الحرارية و عوامل الضغط فيكون له نسيج بلوري معدني واضح بحيث تكون تلك البلورات مرتبة في صفوف متوازية. التركيب المعدني لهذا الصخر يكون مشابه للتركيب المعدني للصخر الاصلي.
	و هو صخر مشابه لصخر النيس و لكن بلوراته تكون ادق و اصغر في الحجم و من اهم خواصه انه مركب من صفائح رقيقة متلاصقة يسهل فصل بعضها البعض.

Quartz= كوارتز marble=رخام slate=الاردواز Gneiss =النيس

Schist= الشيست.

التراكيب الثانوية للصخور Secondary structures of rocks

1 Joints الفواصل:

و هي عبارة عن شقوق في الكتل الصخرية غالبا ما تكون في الصخور الرسوبية دون حدوث اي حركة او انتقال لتلك الصخور على جانبي الشق و كما بالشكل ادناه.

حيث يتراوح المسافات بين الفواصل)الشقوق(من بضعة سنتمترات الى بضعة امتار ويتغير عمقها من مسافات محدودة الى مسافات كبيرة و تظهر واضحة في الصخور ذات الحبيبات الصغيرة او الدقيقة مثل الاحجار الجيرية و الرملية و الطينية.

شق منفرد

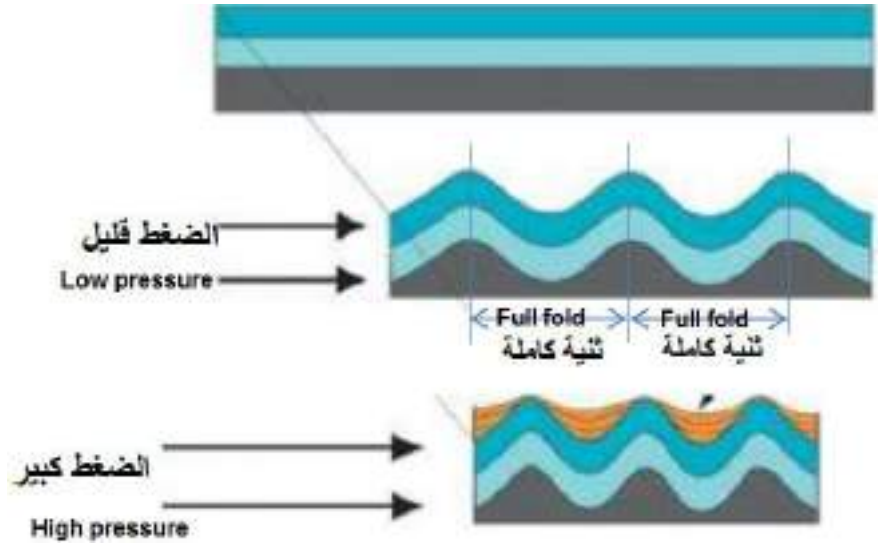
شقوق متوازية

و تنشأ تلك الشقوق في الصخور الرسوبية اما نتيجة لتبخر المياه من بعض الترسيبات(مثل تقلص الصخور الطينية)او نتيجة الحركات الارضية حيث تتشقق الصخور الاكثر صلابة عند انثنائها و قد تحتوي الصخور الرسوبية على مجموعتين من الفواصل المتعامدة و بالتالي تتواجد تلك الصخور على شكل كتل.

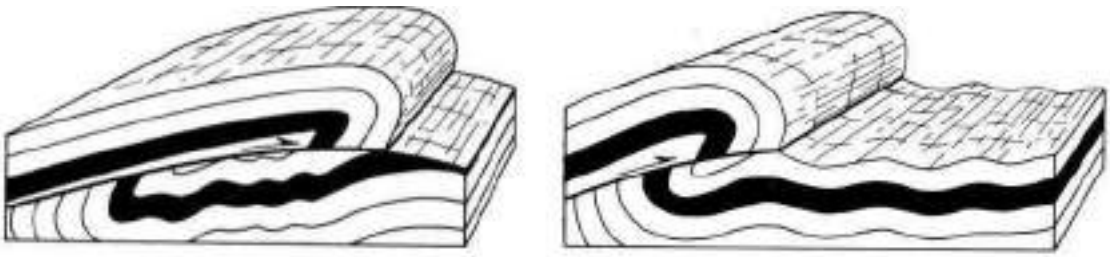
اما الفواصل(الشقوق)التي قد تتواجد في الصخور النارية فتنشأ نتيجة لانكماش تلك الصخور اثناء برودها .و يساعد وجود هذه الشقوق عوامل التعرية (الامطار و الامواج و جذور النباتات و المياه الجوفية)الى التسرب الى داخل القشرة الارضية.

2 Folds الثنيات او الطيات:

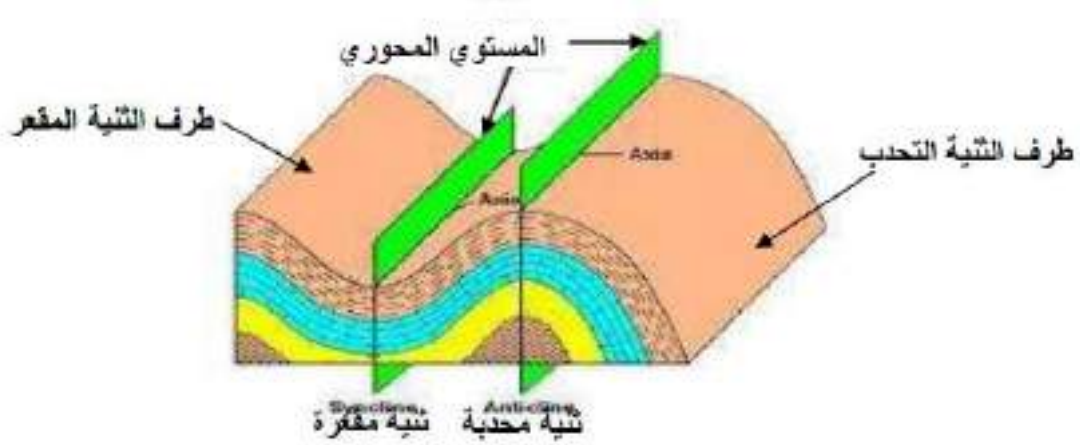
وهي انحناءات في الطبقة او الطبقات المكونة للقشرة الارضية تنشأ نتيجة لضغط جانبي متولد من حركات القشرة الارضية و قد تكون تلك الطبقات افقية او مائلة وكلما كان الضغط كبير كلما كان ارتفاع الثنية المتولدة كبير و كما بالشكل ادناه:



و كلما كان الضغط مفاجئا و سريعا كلما كان احتمال اكبر لحدوث انثناء و كسر في الطبقة و كذلك كلما كان الصخر صلبا كلما ازداد حدوث الكسر و كذلك كلما كانت هناك مواد كثيرة فوق الطبقات المعرضة للضغط الجانبي كلما قل احتمال حدوث الطية او الانثناء او الانكسار و كما بالشكل ادناه:



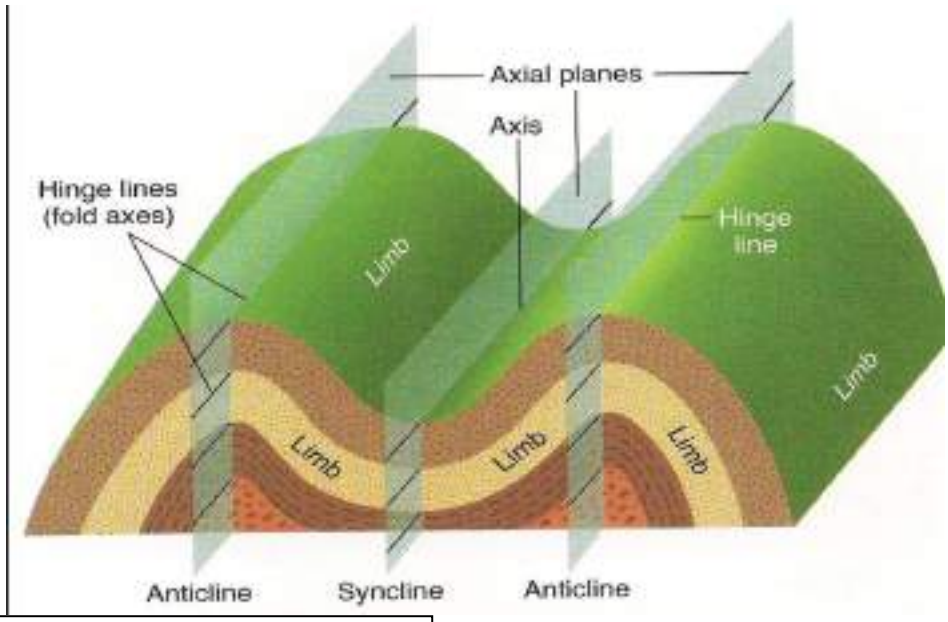
و تتكون الثنية كاملة من جزء محدب (Anticline) و جزء اخر مقعر (Syncline) و تسمى اعلى نقطة في قطاع الثنية بالقمة (Crest) بينما اوطى نقطة تسمى بالقاع (Trough)، اما جوانب الثنية سواء محدبة او مقعرة فتسمى بالاطراف (Limbs) اما المستوي المار بالقمة او بالقعر فيسمى بالمستوى المحوري و قد يكون هذا المستوى رأسيا او مائلا و كما بالشكل ادناه.



انواع الثنيات (الطيات) Types of folds :

1-الطية المحدبة Anticline: تكون الطبقات على شكل قوس محدب نحو الأعلى والصخور الأقدم توجد في مركزالطية ويكون ميل جناحي الطية إلى الخارج نسبة إلى المفصل .

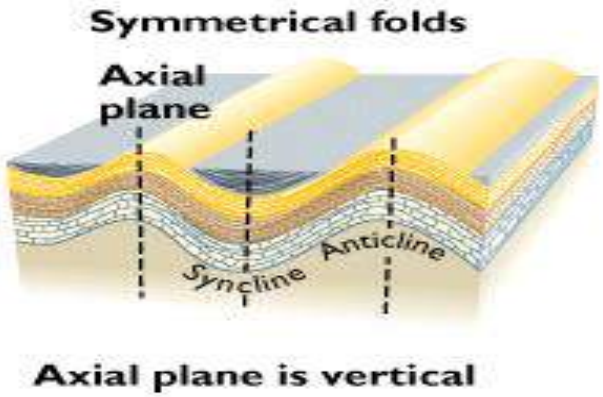
2-الطية المقعرة Syncline : تكون الطبقات على شكل قوس مقعر نحو الأسفل ويكون ميل جناحي الطية احدهما باتجاه الآخر.



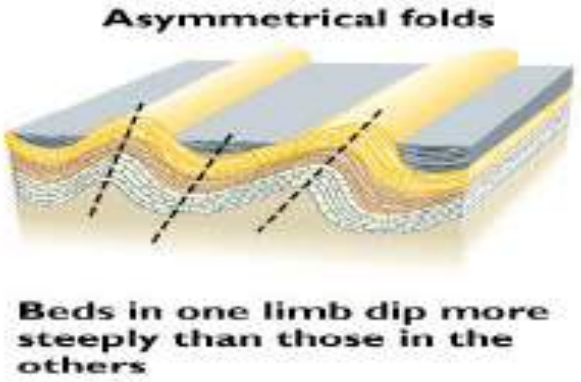
شكل يوضح الطية المقعرة والمحدبة

3-الطية المتناظرة Symmetrical fold :

يكون فيها المستوي المحوري عمودي سواء كانت الطية محدبه أو مقعرة.

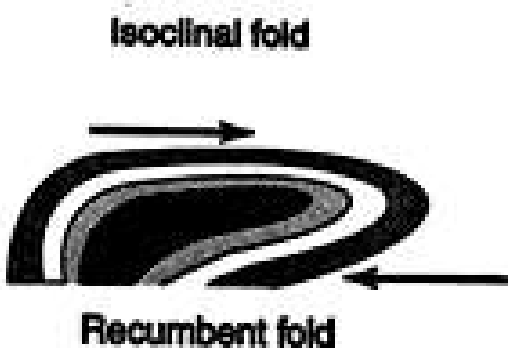


4-الطية غير المتناظرة Asymmetrical fold: يكون فيها المستوي المحوري مائل عن الأفق.



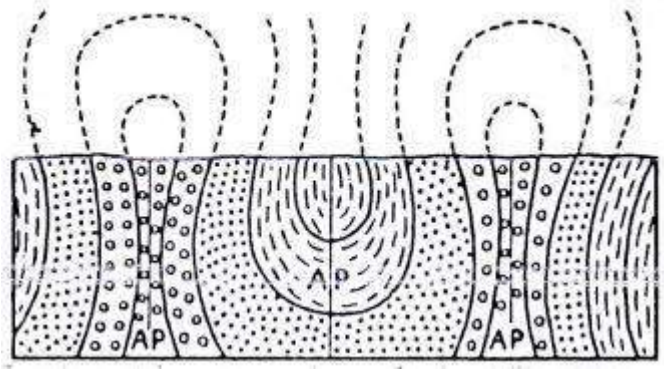
5-الطية المقلوبة Overturned fold :

يكون فيها المستوي المحوري مائل بنفس اتجاه ميل جناحي الطية ويكون الطرف المقلوب قد دار أكثر من 90 درجة ليأخذ الوضع الحالي.



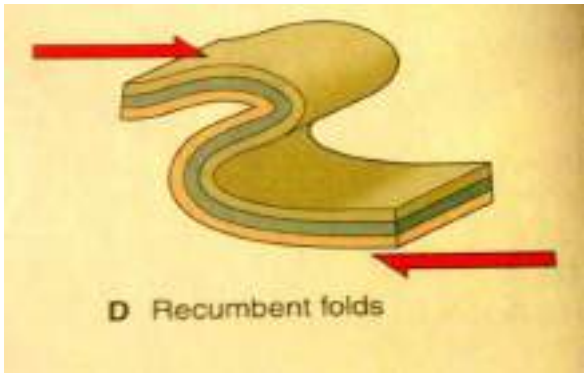
6-الطية المروحية Fan fold :

الطية التي يكون كلا طرفيها مقلوبا فالطية المروحية المحدبة يميل طرفها أحداهما نحو الآخر أما الطية المروحية المقعرة يميل الطرفان مبتعدا احدهما عن الآخر.



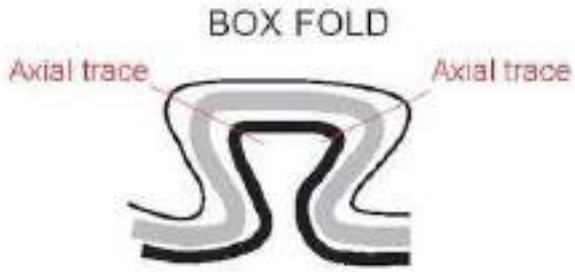
7-الطية المضطجعة Recumbent fold :

يكون فيها المستوي المحوري أفقي موازي لجناحي الطية ، و أحيانا تحتوي الطيات المضطجعة على طيات محدبة ثانوية.



8-الطية الصندوقية Box fold :

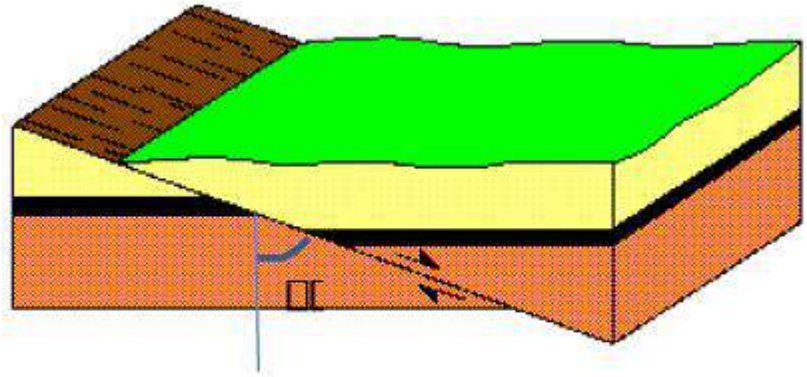
الطية التي تكون ذروتها عريضة ومنبسطة ولها خطي مفصل كل واحد على جانبي الذروة المنبسطة.



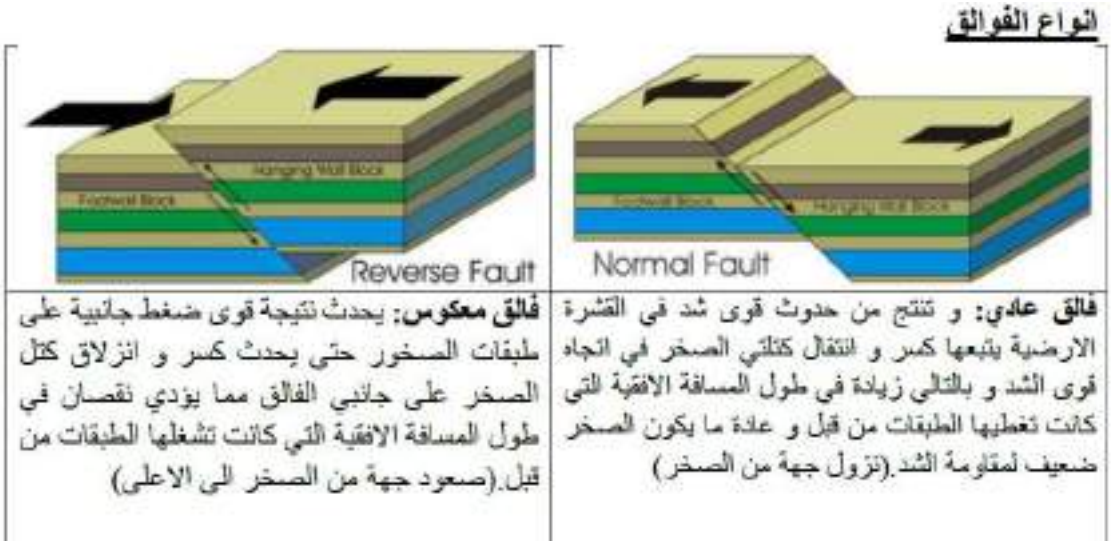
9- القبة Dome : هذا التركيب تميل فيه الطبقات من جميع الإتجاهات بعيدا عن نقطة متوسطة تسمى مركز القبة.

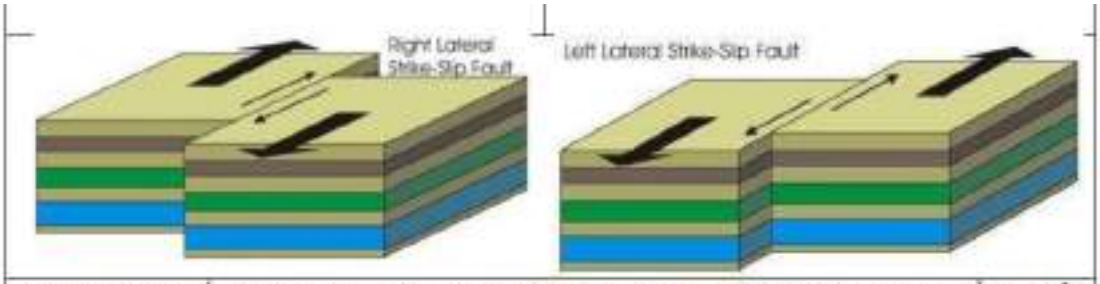
10-الحوض Basin: وهي الطية التي تميل فيها الطبقات إلى الداخل في جميع الإتجاهات نحو نقطة متوسطة تسمى مركز الحوض, وهي عكس القبة. (عكس القبة)

3-الفوالق (الصدوع)(Faults): حدوث كسر في طبقات الصخور و يصاحب ذلك الكسر انتقال الصخر على جانبي مستوى الكسر(مستوى الفالق)و يحدث ذلك نتيجة حركات القشرة الارضية التي تولد قوى ضغط او شد او قص او عزوم انحناء او الالتواء و يعتمد درجة و شكل ذلك الكسر على نوع تلك القوى و خواص الصخرة و كما بالشكل ادناه.

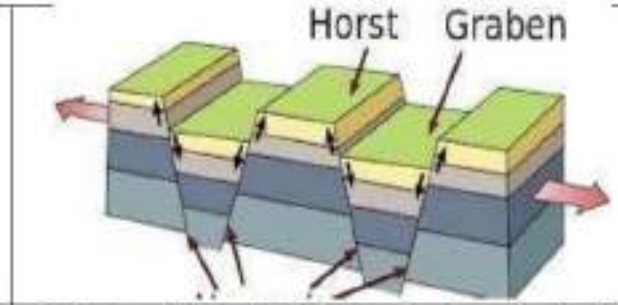


تتراوح اطوال الفالق من عدة امتار الى مئات الكيلو مترات حيث تكون له بداية و له نهاية و قد يحدث الفالق في فترة واحدة من الزمن او على فترات متلاحقة .الصخور المتكسرة على جانبي الفالق تسمى بجدران الفالق و عادة ما تكون تلك الاسطح منتظمة و فيها نتوءات ناتجة من كسر الصخور و قد يتواجد بعض من فتات تلك الصخور بداخل الفالق .اما زاوية ميل الفالق فيعبر عنه بالزاوية β.

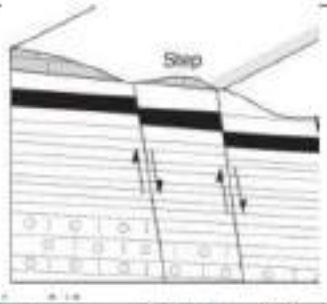




الفالق الرأسي: و يحدث هذا الفالق عندما تتحرك كتل الصخر على جانبيه حركة رأسية فقط اي يكون سطح الفالق رأسيا (تكون زاوية الميل في هذه الحالة صفرا) و كذلك الانتقال الافقي لكتل الصخر.



الفالق المركب: عندما توجد الفوالق على هيئة مجموعات في منطقة واحدة. و يسمى الفالق بالحوضي (graben) او الاخدود و هو هبوط جزء من الطبقات و بنفس الميل في الاتجاهين و يسمى بالهورست عند ارتفاع كتلة الصخر من الجانبين



الفالق السلمي او المتدرج: و هو الفالق الذي يشبه السلم بحيث تكون الشقوق باتجاه واحد.

الخواص الفيزيائية والهندسية للصخور
Physical and engineering properties of the rocks

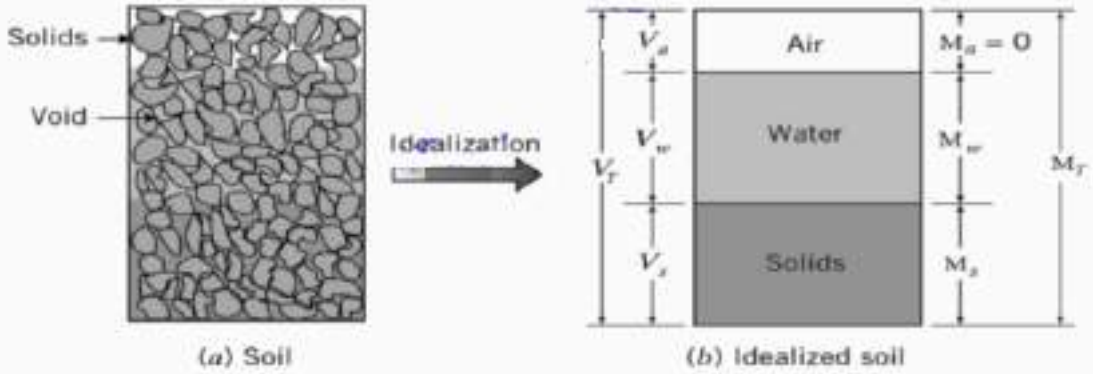
يعتمد سلوك التربة والصخور في ظروف معينة علي خصائصها الفيزيائية (الطبيعية) والهندسية (الميكانيكية) للمواد (المعادن) المكونه لها، ولهذا يمكن تصنيف هذه الخصائص او الصفات الى:

1. **خصائص فيزيائية** Physical properties : وهي مجموعة من الخصائص التي تؤثر على قيمها العوامل الجيولوجية الطبيعية مثل نوع الصخور Rock type والتركيب المعدني Mineral composition وحجم الحبيبات Grain size ومن امثلة هذه الخصائص الكثافة والمسامية والمحتوى المائي.. الخ.

2. **خصائص ميكانيكية** :Mechanical properties وهي الخواص التي تصف السلوك الهندسي للصخور او التربة مثل المرونة ومقاومة الصخور للاجهادات المختلفة.

مكونات الصخور او التربة Rocks (Soil) Phases :

تتكون الصخور والتربة من ثلاثة مكونات (اطوار phases) هي المكونات الصلبة Solids والفراغات Voids التي قد تحتوي على الهواء Air او الماء water او كلاهما في التربة غير المشبعة. يمكن التعبير عن هذه المكونات بشكل وزني (كتلي) او حجمي وتحدد هذه المكونات وعلاقتها ببعضها خصائص الصخور والتربة بشكل كبير

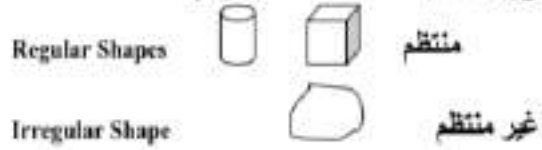


Rocks (Soil) Phases

حساب الحجوم:

تعتمد العلاقات النسبية بين مكونات التربة او الصخور على قياس الحجوم ويتم ذلك:

1. **الاشكال غير المنتظمة**: يتم غمر العينة في حجم معلوم من الماء في المختبر باستخدام اسطوانة مدرجة حيث ان الماء الزائد يمثل حجم العينة.
2. **الاشكال المنتظمة**: يتم حساب الحجم باستخدام القوانين الرياضية كحجم المكعب (الطول*العرض*الارتفاع) وحجم الشكل الاسطواني (مساحة القاعدة*الارتفاع).



الخصائص الفيزيائية:

هناك خصائص فيزيائية اهمها:

1. الكثافة Density

هي النسبة بين كتلة الصخرة وحجمها وتقاس بوحدة g/cm^3 او Kg/m^3 ولمعظم الصخور القريبة من سطح الارض كثافة تتراوح بين ($1.5\text{-}3.0\ g/cm^3$).

Density= Mass/Volume

$$\rho = \frac{M}{V}$$

M: Mass, V: Volume

وتقسم الى انواع:

(A) الكثافة الكلية Bulk Density

هي النسبة بين كتلة المواد الكلية في الصخرة (معادن وماء) M_w و M_s الى الحجم الكلي V_T.

$$\rho_b = \frac{M_s + M_w}{V_T}$$

(B) الكثافة الجافة Dry Density

هي النسبة بين كتلة المادة الصلبة M_s في الصخور عندما تكون الفراغات خالية من الماء وحجمها الكلي V_T.

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_T}$$

2. الوحدة الوزنية Unit Weight

وتسمى ايضا الكثافة الوزنية وهي النسبة بين وزن الصخرة وحجمها وتقاس بوحدة نيوتن/م^3 (N/m^3).

Unit Weight= Weight/Volume

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Weight= $M.g$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{M.g}{V} = \rho.g$$

حيث g هو التعجيل الارضي ($9.8\ m/s^2$) .

3. الوزن النوعي (Specific Gravity)

هو النسبة بين كثافة الصخرة ρ وكثافة الماء ρ_w وهي بدون وحدات يرمز لها G.

$$G = \frac{\rho}{\rho_w}$$

$$G = \frac{\rho.g}{\rho_w.g} = \frac{\gamma}{\gamma_w}$$

مثال: كتلة صخرية منتظمة ذات ابعاد 85.5cm, 79cm, 43.8cm ولها كتلة مقدارها 953Kg، جد الوزن النوعي للصخرة؟

Volume V= 0.855X0.79x0.438

$= 0.2958m^3$

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{953\ Kg}{0.2958\ m^3} = 3222\ Kg/m^3$$

$$G = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{3222\ Kg/m^3}{1000\ Kg/m^3} = 3.22$$

يتم حساب الوزن النوعي (النسبة بين وزن حجم معين من المواد الصلبة الى وزن نفس الحجم المساوي له من الماء) في المختبر باستخدام العلاقة التالية:

الوزن النوعي = وزن العينة الجافة W1 /(وزن العينة الجافة W1 - وزن العينة وهي مغمورة في الماء W2)

$$G = \frac{W1}{W1 - W2}$$

4. المسامية Porosity

هي النسبة المئوية لحجم الفراغات في الصخرة V_V الى الحجم الكلي للصخرة V_T .

$$n = \frac{V_V}{V_T} x100$$

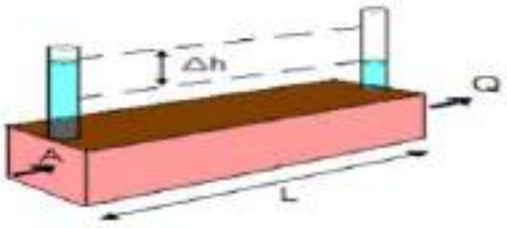
مسامية الصخور قد تكون اولية او ثانوية وتعتمد على عوامل منها:

1. شكل الحبيبات المعدنية المكونة للصخور.
2. تدرج احجام الحبيبات.
3. درجة تراص الحبيبات وتجمعها.

وتحسب في المختبر من خلال جمع عينة باستخدام اسطوانة معدنية معلومة الحجم ويمثل ذلك الحجم الكلي V_T للعينة ثم يتم تحديد حجم المكونات الصخرية الصلبة بدون فراغات بوضعها في اسطوانة مدرجة يضاف اليها الماء الى حد معلوم ليتم بعدها حساب حجم الفراغات V_V من خلال الحجم الكلي مطروحا منه حجم المكونات الصلبة، تحسب بعد ذلك المسامية حسب العلاقة السابقة.

5. النفاذية Permeability

وهي قابلية التربة او الصخور على امرار السوائل عبر مساماتها المتصلة وتحسب باستخدام قانون دراسي:



Q=KIA

Q: Discharge, K: Hydraulic conductivity

I: Hydraulic gradient, A: Cross section area

6. نسبة الفراغات Void Ratio

هي النسبة بين حجم الفراغات Volume of voids الى حجم المواد الصلبة Volume of solids .

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

7. المحتوى المائي Moisture (water) content

وهو كمية المياه في الصخرة او محتوى الرطوبة الذي يمكن التعبير عنها بصورة وزنية (Gravimetric moisture content) او حجمية (Volumetric moisture content):

Gravimetric moisture content

هو النسبة المئوية بين كتلة الماء M_w في الصخرة الى كتلة المادة الصلبة M_s

$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Volumetric moisture content

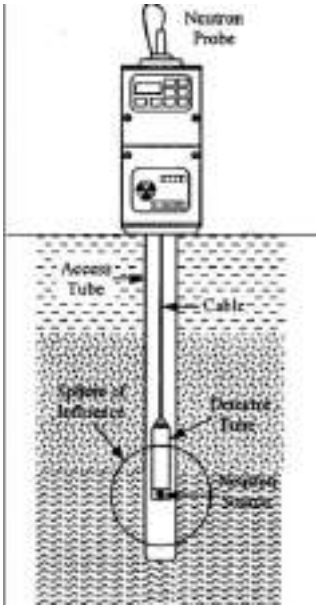
هو النسبة المئوية بين حجم الماء V_w في الصخرة الى حجمها الكلي V_T

$$\theta = \frac{V_w}{V_T} \times 100$$

يتم حساب المحتوى المائي في المختبر بطريقة مباشرة من خلال قياس كتلة العينة قبل وبعد تجفيفها في فرن بدرجة 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة واستخدام العلاقة:

$$w = \frac{M_w}{M_s} x100 = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}} \times 100$$

او باستخدام طرق غير مباشرة كاستخدام المجسات المختلفة مثل مجس النيوترون Neutron Probe وبعض الطرق الجيوفيزيائية مثل طريقة المقاومة النوعية الكهربائية والتحسس النائي..



8. درجة التشبع Degree of saturation

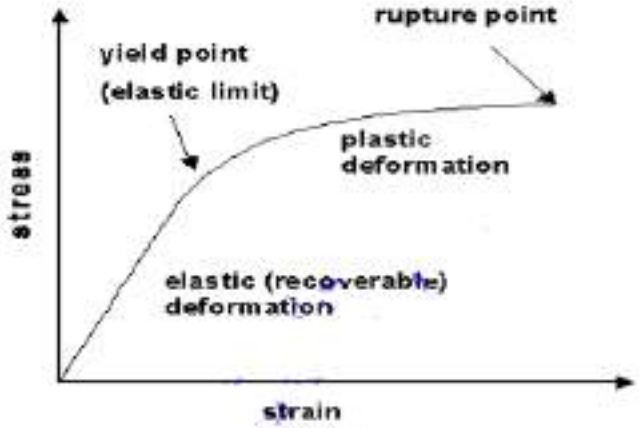
وهي النسبة بين حجم الماء في الصخرة V_w نسبة الى حجم الفراغات فيها V_v وتتراوح قيمته (1-0).

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{V_w}{V_T . n} = \frac{\theta}{n}$$

الخواص الهندسية للصخور Engineering Properties of Rocks

وهي الخواص التي تصف السلوك الهندسي (الميكانيكي) للصخور التي تساعد في اختيار الموقع الملائم لاي منشأ هندسي وتساعد في تقييم المخاطر المحتملة وتقديم الحلول لها اضافة الى اهميتها عند استخدام هذه الصخور كمواد بناء لاقامة المنشآت الهندسية المختلفة.

تعرف القوة المسلطة على مساحة من الصخور بالجهد Stress الذي قد ينتج عنه تشوه يعرف بالاجهاد Strain الذي يمثل اي تغير في الشكل او الحجم لصخرة نتيجة لتعرضها للقوى الخارجية، وتحدد طبيعة العلاقة بين الجهد والاجهاد السلوك الهندسي للصخور، اذ ان الاجهاد يتناسب طرديا مع الجهد المسلط ضمن حدود المرونة Elasticity التي يحكمها قانون هوك Hook's Law، كما مبين في الشكل، وبعد زيادة القوة المسلطة الى حد معين فان الصخرة لايمكن ان تستعيد او تسترجع شكلها او حجمها الاصلي فيحصل تشويه دائمي تكون فيه الصخرة عندها في نطاق اللدونة Ductile or plastic وعند زيادة القوة المسلطة اكثر تصل الى حد لايمكن ان تتحمله فتتعرض للانهيار او الكسر Rupture.



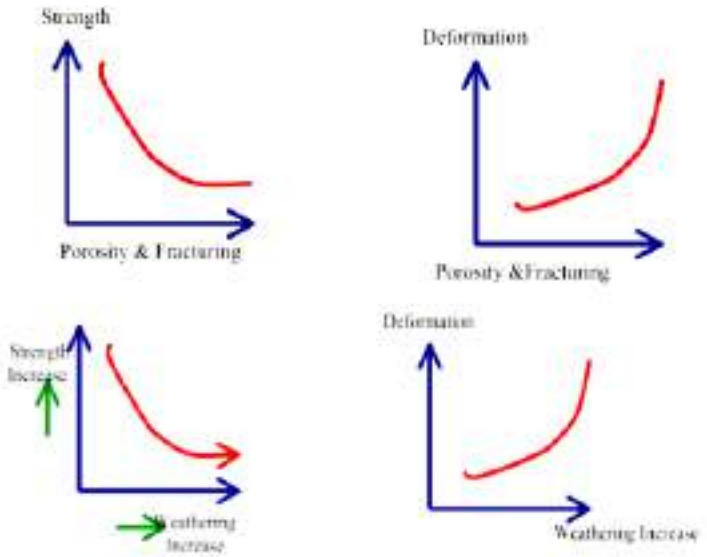
Stress- Strain relationship

مقاومة الصخور Strength:

تحاول القوة المسلطة على وحدة مساحة من الصخرة (الجهد) ان تغير من شكلها او حجمها وتعرف قابلية الصخرة على تحمل او مقاومة القوى الخارجية المسلطة عليها بمقاومة او قوة الصخرة Strength وتفيد في تحديد قابلية الصخرة لتحمل الاحمال الناتجة عن اقامة المنشآت الهندسية المختلفة، تتحكم في مقاومة الصخور العديد من **العوامل الجيولوجية Geological factors** اهمها:

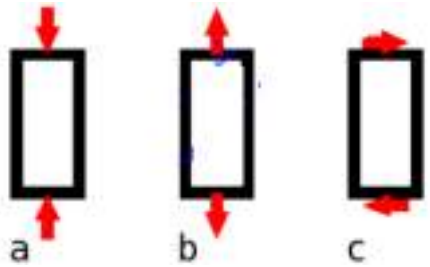
1. نوع الصخور Rocks type
2. حجم الحبيبات Grain size
3. التركيب المعدني Mineral composition
4. درجة التجوية Weathering degree
5. المسامية Porosity والنفاذية Permeability
6. الفواصل والصدوع joints and Faults
7. المحتوى المائي Water Content ودرجة التشبع Saturation

بالاضافة **عوامل هندسية** Engineering Factors مثل مقدار الحمل rate of loading ونوعه Load Type ، وابعاد الصخرة Dimensions.



وتصنف مقاومة الصخور تبعا الى طبيعة القوى المسلطة عليها الى ثلاثة اقسام رئيسة:

(a) مقاومة الانضغاط Compressive Strength
(b) مقاومة الشد Tension Strength
(c) مقاومة القص Shearing Strength



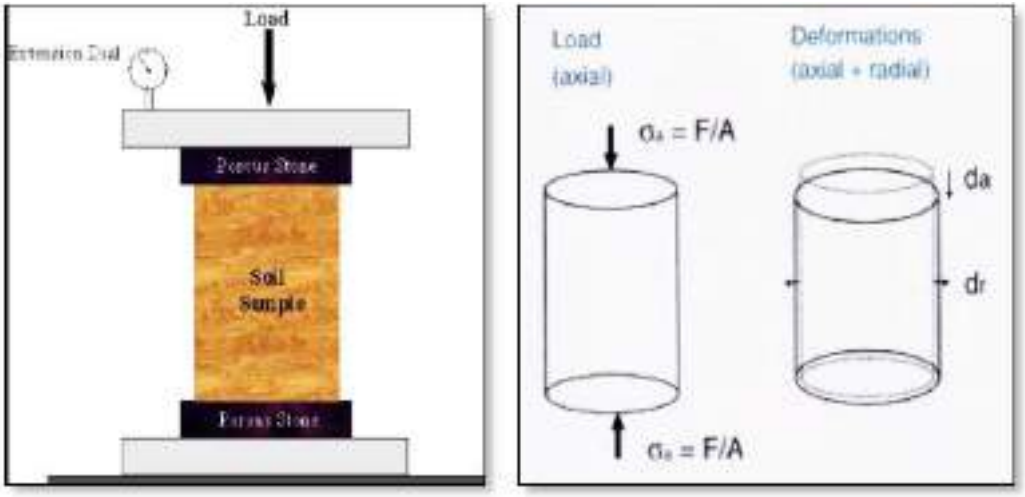
1. **مقاومة الانضغاط Compressive Strength** هي مقاومة الصخرة للقوى التضاغطية التي تحاول تقليص او نقصان حجمها وتتعرض الصخور في الطبيعة الى قوى تضاغطية تسبب التواءها وتكسرها وضعف مقاومتها للاحمال الهندسية وهي على نوعين:

أ) مقاومة الانضغاط الاحادي المحور Uniaxial Compressive Strength

يمكن تتعرض الصخرة الى قوى او احمال باتجاه محور واحد فقط دون وجود احمال اخرى عمودية على محور التحميل وتعرف مقاومة الصخرة لهذه القوى بمقاومة الانضغاط الاحادي المحور وتقاس مقاومة الانضغاط بالقوة المسلطة على الصخرة حتى تعرضها للتكسر اوالفشل (Failure)، ويعبر عنها بقوة الانضغاط لوحدة المساحة:

$$\sigma = \frac{F}{A} = N/m^2$$

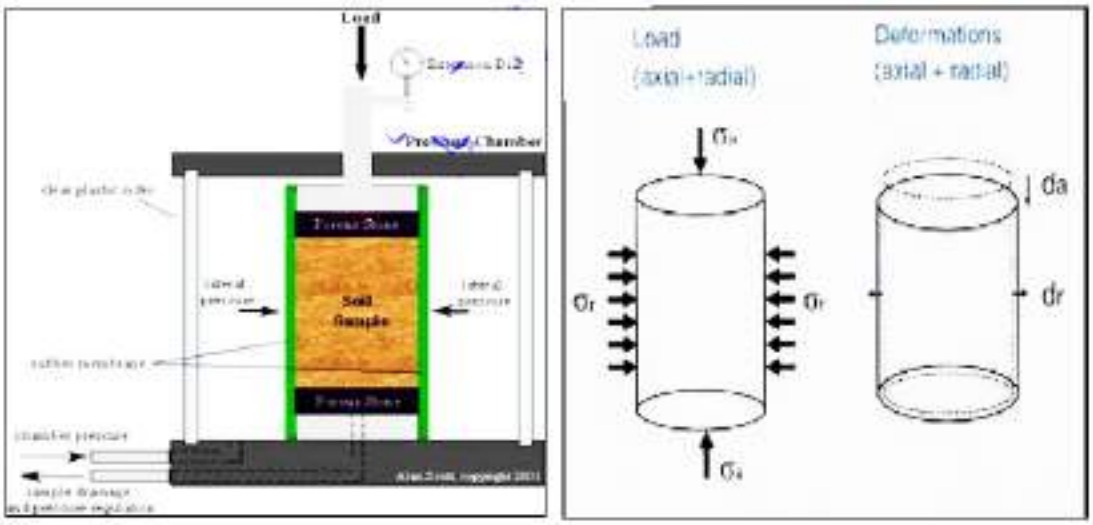
σ: Stress, F: Force, A: Area,



Uniaxial Compressive Strength

ب) مقاومة الانضغاط الثلاثي المحور (المحصور) Triaxial Compressive Strength (confined)

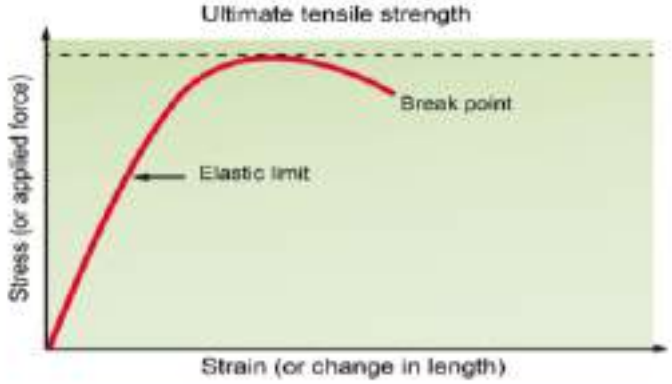
تتعرض الصخور عادة في الطبيعة الى قوى باتجاه اكثر من محور واحد، و غالبا ماتتعرض الى اجهادات من ثلاثة اتجاهات متعامدة.و عندما تتعرض الى ضغوط من جميع الاتجاهات فيعرف بالضغط الهيدروستاتيكي او الليثوستاتيكي.



Triaxial compressive strength

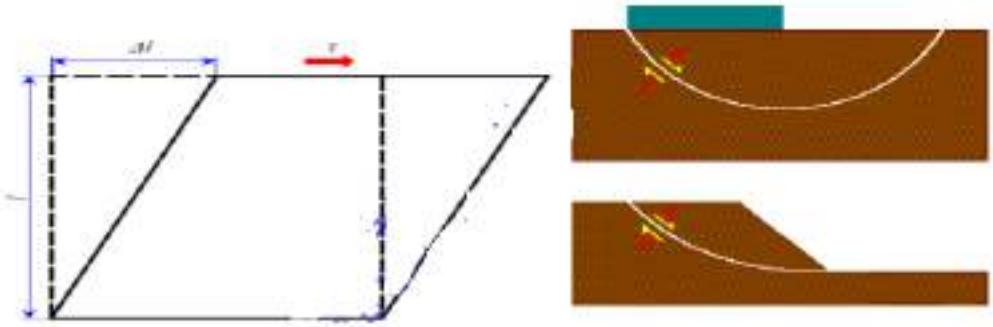
2. مقاومة الشد Tensile Strength

وتعرف على انها اكبر جهد لقوى شد يمكن ان تتحمله الصخور وغالبا ما تتعرض الصخور الى قوى شدية تؤدي تشقق وتصدع الصخور والتي تمثل مناطق ضعف في التراكيب الهندسية كالسدود والانفاق والسناجم وتؤثر عوامل كدرجة الحرارة ووقوع الزلازل على مقاومة الصخور في هذه المواقع.



3. مقاومة القص Shear Strength

وهي مقاومة الصخرة لقوى تعمل بشكل متوازي على امتداد سطح يعرف بمستوى القص وتميل لإنتاج فشل الانزلاق Sliding failure باستداد مستوى موازي لاتجاه القوة كحصول الصدوع او الانزلاقات الارضية في المنحدرات عندما تفوق الاحمال القصية قوة تحمل الصخور لها كما تحصل في الانفاق والسدود وتعتمد مقاومة القص على مقاومة الاحتكاك على امتداد مستوى القص ومدى ترابط الحبيبات وتماسكها وتساهم عوامل عديدة مثل وجود التصدعات وزيادة المحتوى المائي والنفاذية في ضعف مقاومة القصية.



+Shear stress

التشوهاتDeformations:

هو اي تغيير في شكل او حجم الصخور نتيجة لتعرضها لقوى التي قد تكون تضاغطية compressive او شديه tensile او قصدية shear.

التشوهاتDeformations:

هو اي تغيير في شكل او حجم الصخور نتيجة لتعرضها لقوى التي قد تكون تضاغطية compressive او شديه tensile او قصدية shear.

انواع التشوهات Deformation types

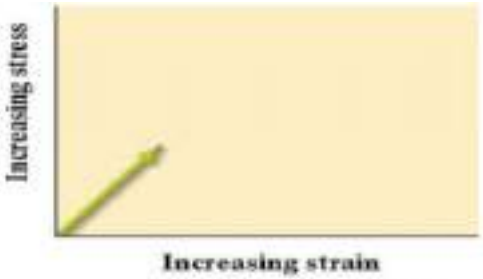
اعتمادا على نوع من الصخور، وحجمها وشكلها وخصائصها المختلفة والقوى التي تتعرض لها هناك انواع مختلفة من التشوهات:

1. تشوه مرن Elastic Deformation

وهو تشوه وقتي في شكل او حجم الصخرة التي تعود الى حالتها الاصلية بعد زوال القوى المؤثرة و يخضع الى قانون هوك Hook's Law الذي ينص على ان التشوه يتناسب طرديا مع الجهد ضمن حدود المرونة:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Where σ is the applied stress, E is a material constant called Young's modulus, and ε is the resulting strain



Elastic deformation

2. تشوه لدن Plastic (Ductile) Deformation

هو تشوه دائمي في شكل او حجم الصخرة لاتعود فيه الصخرة الى حالتها الاصلية بعد زوال القوى المؤثرة نتيجة لتحرك الذرات من مواقعها الاصلية دون ان تفقد الصخرة تماسكها Cohesion.

3. تشوه هش Brittle Deformation

عند ازدياد القوى المسلطة على الصخور وتصل الى حالة لم تعد تتحمل فيها الجهد المسلط يؤدي الى فشل في تحمل المادة فينتهي التشويه اللدن مع كسر او تهشم Rupture في الصخرة وهو نوع من التشويه لا رجعة فيه يحدث بعد وصول المواد نهاية الحالة المرنة، ومن ثم اللدنة لتصل الى نقطة تتراكم القوى حتى تكون كافية للتسبب في فقدان تماسك الذرات وتحركها مؤدية الى التهشم وجميع المواد تصل الى هذه الحالة في نهاية المطاف، إذا تم تسليط قوى كافية.

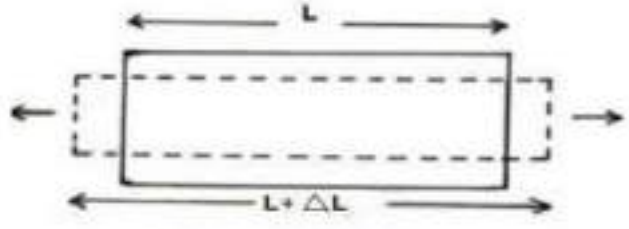
Plastic deformation

معاملات المرونة:

1. المرونة الطولية Longitudinal Elasticity

وتمثل مقاومة الصخور للقوى المؤثرة باتجاه محور واحد وتحاول تغيير طولها ويعبر عنها بمعامل يونك Young's Modulus.

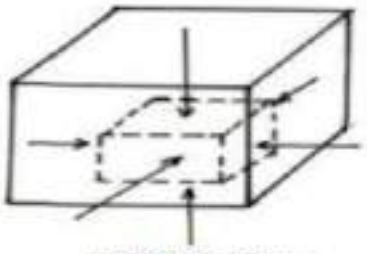
$$E = \frac{\text{Longitudinal Stress (Force/Unit area)}}{\text{Longitudinal Strain (elongation or shortening)}} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$



Young's Modulus

2. **المرونة الحجمية (الكلية) Volume or Bulk Elasticity**

تعرف المرونة الحجمية على انها مقاومة الصخور للقوى المؤثرة على عدة محاور والتي تحاول تغيير حجمها.



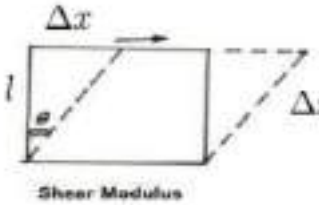
Bulk Modulus

$$K = \frac{Volume\ Stress}{Volume\ Strain} = \frac{F/A}{\Delta v/v}$$

ويعرف مقلوب معامل المرونة الحجمية بالانضغاطية (Compressibility) B=1/K.

3. **المرونة الشكلية او القصية Shear Elasticity** وتمثل مقاومة الصخور للقوى التي تبدل شكلها وتعرف بالمرونة القصية لكونها ناتجة عن قوى قصية على امتداد مستوى معين.

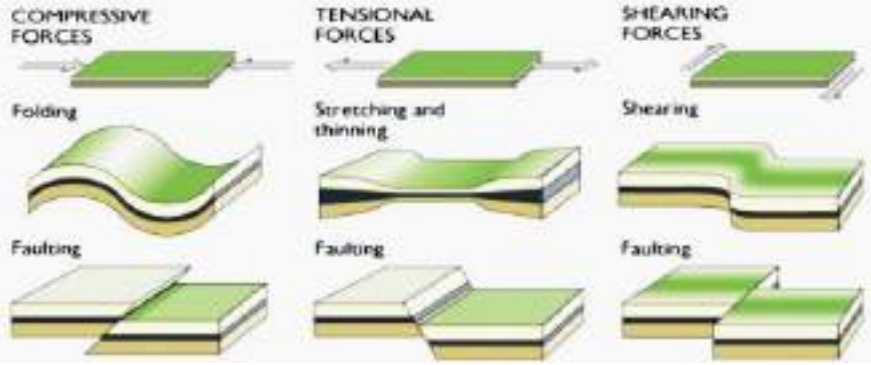
$$\mu = \frac{Shear\ Stress}{Shear\ strain} = \frac{F/A}{\Delta x/l}$$



Δx is the transverse displacement
l is the initial length

Shear Modulus

تحدد عوامل مثل نوعية الصخور وخصائصها، درجه الحرارة، ومقدار ونوع الجهد المسلط شكل وطبيعة التشوهات في الصخور في الحقل مما يؤدي الى نشوء تراكيب مختلفة كالطيات (تشوهات لدنة Ductile) والصدوع (تشوهات هشة Brittle) والتي يمكن ان تنتج عن قوى تضاغطية او شدية او قصية كما مبين في الشكل، هذه التراكيب يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار في التصميم الهندسي لذا يجب دراسة خصائص الصخور الفيزيائية والهندسية ليتم تقدير التشوهات المحتملة ووضع تصاميم هندسية توفر متانة وسلامة عالية بحيث تصبح التراكيب الهندسية ذات مقاومة عالية للاحمال التي تتعرض لها، ولهذا وقبل الشروع باي مشروع هندسي لابد من دراسة الجهود الاولية initial stresses او ما يعرف الجهود الموقعية in situ stresses التي غالبا ماتكون افقية اكبر من العمودية قرب سطح الارض وتصبح متساوية على اعماق كبيرة حيث يصبح الضغط هيدروستاتيكي متساوي ويتم ذلك باستخدام طرق حقلية ومختبرية لتقييم السلوك الهندسي للصخور ومدى ملائمتها لاقامة المنشآت الهندسية وتقييم المخاطر المحتملة وكيفية حل المشاكل الناتجة.



Geohazards
المخاطر الجيولوجية

Geohazards المخاطر الجيولوجية :

هي ظروف جيولوجية وبيئية ناتجة عن عوامل جيولوجية قصيرة او طويلة الامد بابعاد محلية او اقليمية واسعة او ناتجة عوامل بشرية قد تسبب مخاطر واثار تدميرية بشرية واقتصادية متفاوتة.تعتبر المشاكل الجيولوجية المتمثلة بالحركات الارضية وانهيار الصخور والتراكيب الجيولوجية كالصدوع والفواصل والطيات وعوامل التعرية والترسيب اضافة الى الزلازل والبراكين من اهم المخاطر والمشاكل ا لجيولوجية ذات العلاقة الوثيقة بالهندسة المدنية. ان المهندس المدني يقوم بأقامة المنشآت الهندسية في باطن او على سطح الارض ولهذا تبقى الارض والتراكيب الجيولوجية ومواد البناء المستخرجة منها هي المسببات الرئيسة للمشاكل الهندسية وان معظم المشاكل الهندسية كالانهيارات او التشوهات الحاصلة فيها او الكثير من المشاكل الهندسية اثناء وبعد التنفيذ هي بالاساس ذات طبيعة جيولوجية ولهذا يتعين على المهندس المدني الاخذ بنظر الاعتبار الطبيعة الجيولوجية للمنطقة، خصائص الصخور والتربة، التراكيب الجيولوجية، ..الخ

خلال مراحل التصميم والتنفيذ ومابعده تجنبا لاية مشاكل او عيوب قد تتسبب في خسائر بشرية ومادية كبيرة في حالة حدوثها او عدم معالجتها في الوقت المناسب، وهنا تظهر اهمية الجيولوجيا الهندسية كأحدى الوسائل الضرورية في تطبيقات الهندسة المدنية.

الحركات الارضية Ground movements:

يمكن تمييز انواع مختلفة من الحركات الارضية اعتمادا على:
1 معدل الحركة النسبية التي قد تكون تكون **مفاجئة** اوسريعة Rapid movement تسبب كوارث مدمرة او **بطيئة** تمتد لفترات طويلة جدا Slow movements
2 نوع الحركات السائدة **كالانهيار** Avalancheو **الانزلاق** Slide **والجريان** Flow **والزحف** Creep.
3 نوع المواد المتحركة التي قد تكون طبقات صخرية Rock layers او بقايا او كتل صخرية Rock masses . او تربة Soil.

الحركات السريعة Rapid Movement

تحدث الحركات السريعة اما على شكل كتل صخرية منفردة او اجسام هائلة من الطبقات الصخرية التي تتفكك فيما بعد او تربة حالما تفقد تماسكها او عندما تزحف كميات من الطين على شكل السنة فوق المنحدرات كما قد تحصل هذه الحركات المفاجئة عند حصول الهزات الارضية او الانفجارات البركانية او نتيجة لوجود الصدوع والتشققات او بفعل انجماد وذوبان الجليد بالاضافة الى اثر جذور النباتات عند تواجدها على منحدرات شديدة.

الانهيارات الارضية Ground failures

هي حركات مفاجئة تتمثل في حركة وانزلاق جزء من التربة او الصخور المفككة المكونة للاسطح المائلة في المناطق الجبلية او الميول الصناعية التي هي من فعل الانسان مثل ميول الحفر التي تستخدم للوصول الى اعماق الاسس اوالمنحدرات لاقامة الطرق او حفر المناجم ويساعد وجود ظواهر تركيبية كالتصدعات والفواصل خاصة عندما تكون ذات ميل باتجاه انحدار الطبقات او تشبع التربة بالمياه.. الخ على حصول هذه الانهيارات، ويمكن تتمييز الانواع التالية من الانهيارات:

1. الانهيارات الصخرية

وتحصل عند وجود كتل صخرية على منحدرات شديدة الميل تتسب في حركتها الى حين استقرارها وقد تصل سرعة حركة الى مئات الكيلومترات في الساعة مسببة خسائر بشرية ومادية.

2. الانهيارات الطينية

وتحصل في الترسبات الغنية بالطين على سطوح شديدة الانحدار حيث تفقد تماسكها فتنهار بشكل موائع منسابة تتحرك مع الانحدار وتعتبر من اهم مشاكل التي تواجه مشاريع الطرق وسكك الحديد.

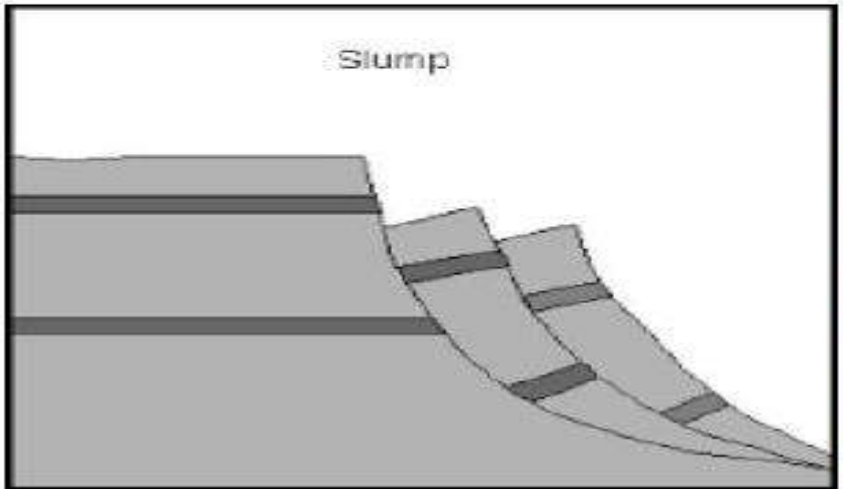
3. الانهيارات الرملية

وتحصل في الاجسام الرملية التي تتجرف خاصة بفعل عوامل التعرية على سطوح شديدة الانحدار مثل ضفاف الانهار او الشواطئ حيث تسبب المياة الجارية تعرية هذه الاجسام وتكسرها بشكل كتل وحطام صخري منزلق خاصة في مواسم الفيضانات او حركة الامواج البحرية الشديدة.

الانزلاقات Slides

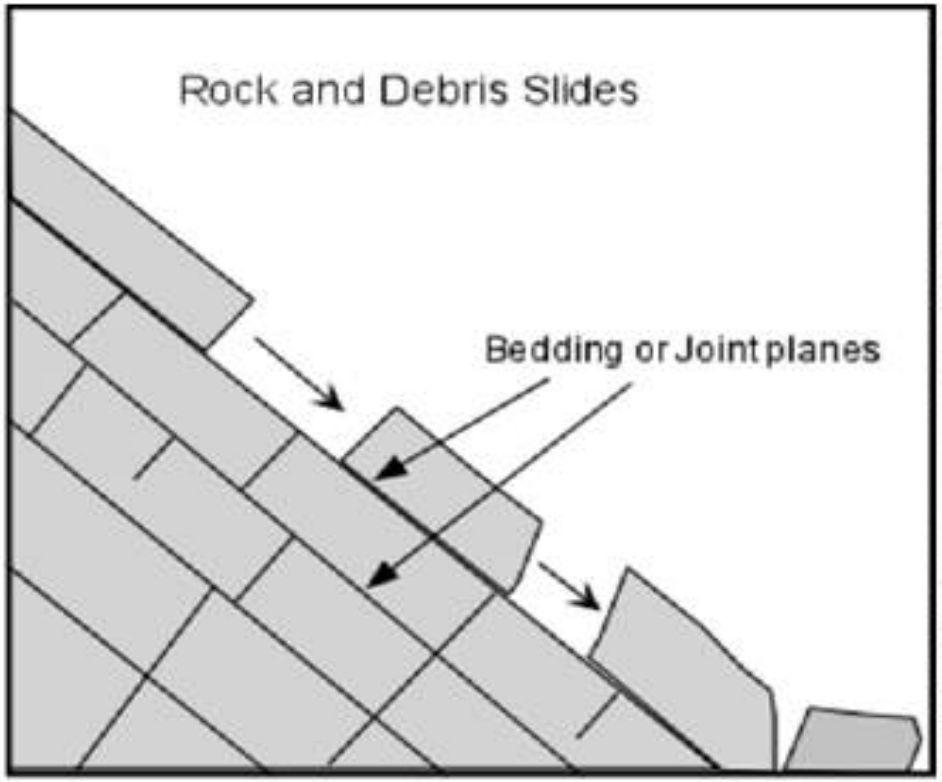
هي حركات سريعة للصخور على امتداد مستويات انزلاق ذات انحدار شديد ويمكن تصنيفها حسب نوع الحركة وخواص المواد المتحركة، ومن انواعها مايلي:

1. **الهبوط الارضي Slump**: ويشمل حركة الكتل الصخرية او المواد غير المتماسكة التي تتحرك كوحدات صغيرة على امتداد مستوى قص Shear Zone وقد يحصل نتيجة للاعمال الهندسية كشق الطرق ايضا.

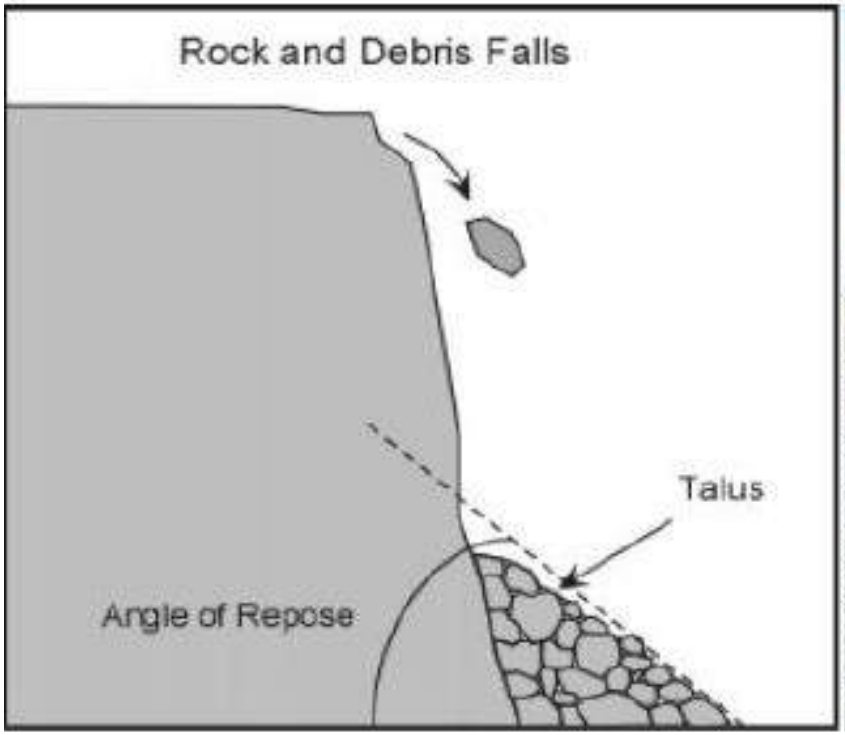


2. انزلاق الركام (الحطام) والصخور Rock and Debris slide

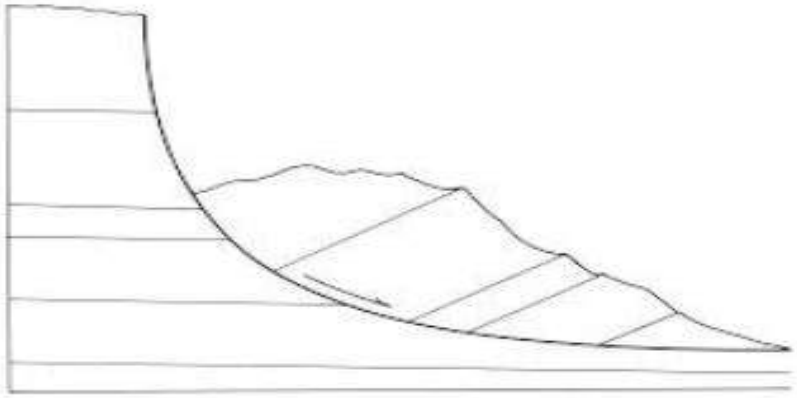
وهي الحركة السريعة للركام الصخري غير المتماسك والذي يحوي على كميات قليلة من المياه يحصل على امتداد مستويات الطبقات والفواصل وقد يحصل هذا النوع بعد حدوث الهزات الارضية او هطول الامطار الغزيرة.



اما تساقط ركام الصخور غير المتماسكة بصورة سريعة من على جرف جبل شديد الانحدار يعرف بسقوط الركام الصخري **Debris Fall** ، ويشمل ايضا تساقط المواد الصخرية نتيجة لتآكل جروف الانهار والبحار نتيجة للتعرية السفلية.



3. **الانزلاق الارضي Landslide** وهي حركة او انزلاق كتل الطبقات الصخرية السريعة على امتداد مستويات التطابق او الفواصل او الصدوع ككتلة صخرية واحدة ثم تتكسر نتيجة الاصطدام.



و العوامل الاساسية في حدوث الانزلاقات هي:

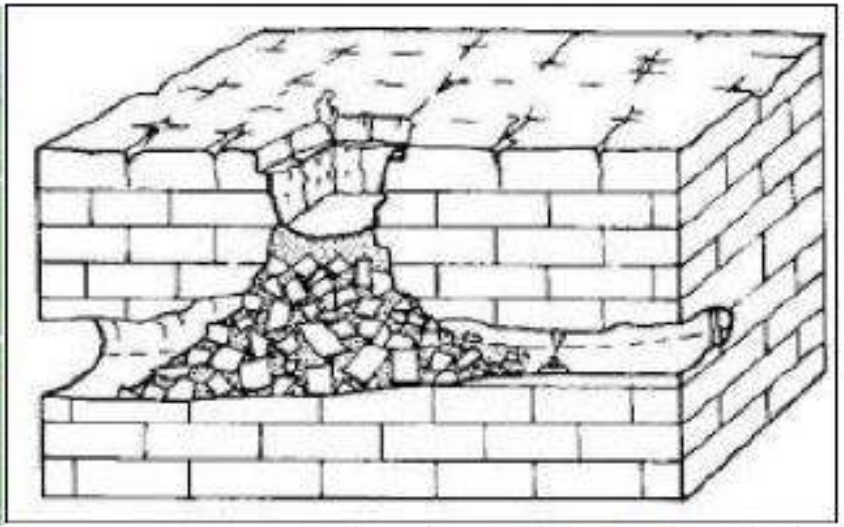
1. وجود طبقات صخرية ضعيفة او مواد غير مترابطة كالرمل والحصى.
2. وجود طبقات سميكة وصلبة فوق طبقات ضعيفة.
3. وجود مستويات التطابق والفواصل والصدوع ذات الميل الشديد.
4. وجود جروف صخرية ذات انحدار شديد.
5. قلة الغطاء النباتي.

اما العوامل المسببة في بدء الحركة:

1. ازاحة الركائز بالعوامل الطبيعية كالمياه والثلاجات والرياح والاعمال الهندسية كعمليات الحفر والتعدين.
2. ازدياد وزن الصخور بسبب التشبع بالمياه الذي يؤدي الى قلة الاحتكاك بين الكتل الصخرية.
3. الهزات الارضية الناتجة عن عمليات التصدع والبراكين.
4. الضغوط الناتجة عن تمدد المياه وتقلصها بفعل تغير درجات الحرارة او الانجماد والذوبان.

الانخفاضات Subsidences

تنتج عن حركة شاقولية للكتل الارضية الناتجة عن ضعف او اذابة المواد السفلية تحت السطح.



وقد تحدث نتيجة لاسباب منها:

1. استخراج المياه الجوفية من باطن الارض.
2. انهيار سقوف المناجم.
3. ذوبان الصخور كالصخور الكلسية.
4. استخراج النفط.
5. عملية الرص Compaction نتيجة لازدياد ثقل الترسبات السطحية.
6. الهزات الارضية والبراكين.

Slow Movements الحركات الارضية البطيئة

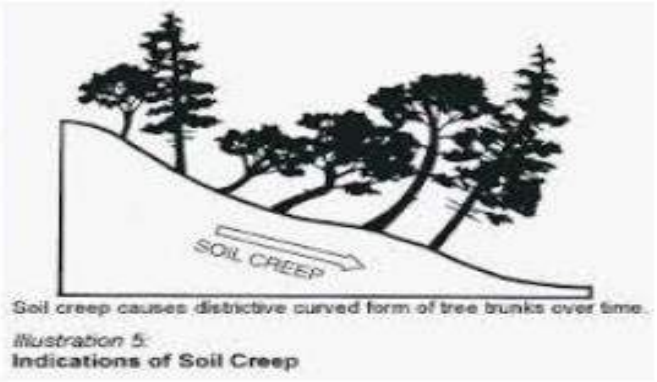
وتشمل حركة التربة البطيئة التي يمكن ان تستغرق وقتا طويلا ومن الامثلة عليها

زحف التربة Soil creep انسياب الارض Earth flow و الانسياب الطيني Mud flow

1زحف التربة:

وتعتبر من اهم انواع الحركات الارضية البطيئة غير المحسوسة وعادة ما يبدأ زحف التربة عند قمم الجبال والتلال او قرب المنحدرات عندما تتكون التربة مواد مفككة ومن اهم الدلائل على زحف التربة هو:1- انحناء جذوع الاشجار

2انحناء وانجراف الاعمدة والأسيجة.



Soil creep causes distinctive curved form of tree trunks over time.

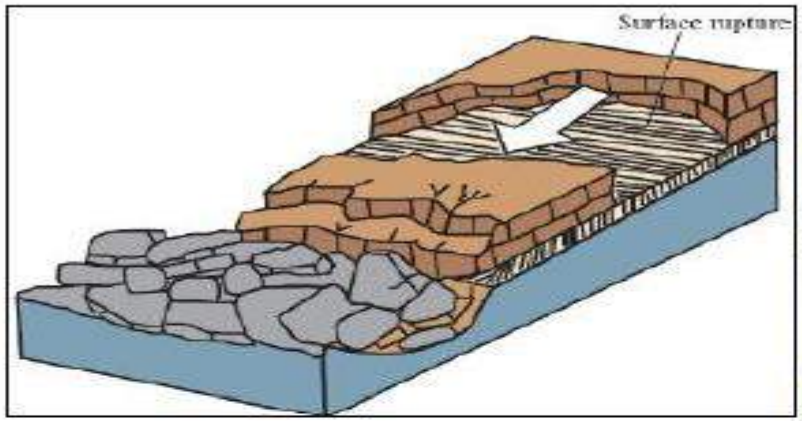
Illustration 5:
Indications of Soil Creep

اما اهم اسباب زحف التربة:

1. التقلص والتمدد بسب تغيرات درجة الحرارة.
2. التعاقب بين التشبع والجفاف في المياه الموجودة في مسامات التربة.
3. جذور النباتات التي تسبب في دفع التربة وحركتها.
4. الرياح كعامل مساعد في عملية زحف التربة.
5. حركة السيارات والحيوانات على جوانب الاودية.

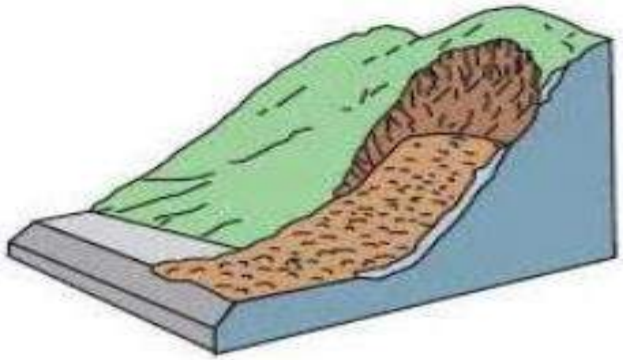
2. انسياب الارض Earth flow

وتحدث هذه الظاهرة عندما تتشبع التربة او المواد المفككة بالمياه مما يؤدي الى انسيابها لمسافة قصيرة على شكل تتابع من الشرفات الارضية غير المنتظمة وقد يصاحبها انهيارات ارضية كبيرة.



3. الانسياب الطيني Mud flow

يختلف الانسياب الطيني بكونه اسرع من الانسياب الارضي عندما تتوغل المياه بصورة مفاجئة في الترسبات الطينية وتساعد عوامل مثل غزارة المياه والانحدار الشديد على سرعة الحركة، اذا يحدث ان تتشبع هذه الترسبات الغنية بالمعادن الطينية فتبدأ بالانسياب وتنقل معها الفتات الصخري كما تساعد على تزحلق الطبقات ونتيجة الى لزوجتها الواطئة تزداد سرعتها.



استقرارية المنحدرات Slop Stability

تتحكم قوتين رئيسيتين في استقرار المنحدرات:

1. قوة الازاحة اوالتحريك Driving force وتمثل وزن الكتل الصخرية او الترسبات و هذه القوة هي السبب الرئيسي لتحركها الى اسفل المنحدر اذ يزداد احتمال حصول الانزلاق بازدياد وزن الكتل الصخرية والترسبات على المنحدرات.

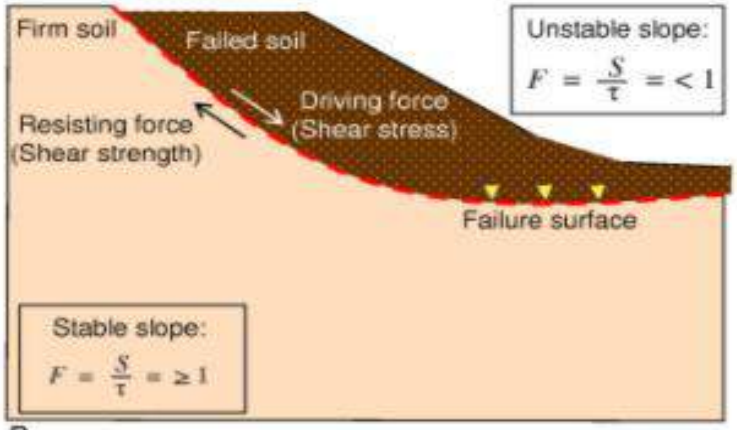
2. القوة المثبتة او قوة المقاومة Resisting force وهي القوة المثبتة التي تعمل باتجاه عكسي لقوة التحريك وتنشأ من قوة تماسك الكتلة الصخرية المتحركة واحتكاكها مع باقي الكتل الصخرية على المنحدر.

ويمكن حساب معامل استقرارية المنحدرات الذي يعرف بمعامل امان المنحدر Slope Safety Factor من خلال المعادلة التالية:

معامل الامان= القوة المثبتة/ قوة التحريك

Safety Factor: Resisting Force/Driving Force

Slope Stability



B

where
F = Factor of safety
S = Shear strength
τ = Shear stress

تصنيف معامل استقرارية المنحدرات:

معامل امان 1: القوة المثبتة= القوة المحركة (حالة حرجة Critical Condition)

معامل امان <1: القوة المثبتة> القوة المحركة (حالة مستقرة Stable Condition)

معامل امان >1: القوة المثبتة< القوة المحركة (حالة غير مستقرة Unstable Condition)

الاضرار والتكاليف Damages and costs

تسبب الانهيارات الارضية باضرار ومشاكل هندسية ذات كلفة عالية لمختلف المشاريع. وتعتبر الطرق السريعة والسكك الحديدية وانابيب النقل من اكثرها تأثرا كما تتأثر الابنية والمنشآت وكذلك المجمعات السكنية والاراضي الزراعية الى اخطار جسيمة نتجة لحصول الانهيارات الارضية كما تتعرض البحيرات الطبيعية والمصطنعة وكذلك الانهار الى اضرار بالغة نتيجة لتراكم الفتات الصخري الناتج عن الانهيارات الارضية، اضافة الى ذلك تسبب الهزات الارضية والبراكين في تدمير المدن والمشاريع الهندسية كالسدود والطرق والجسور نتيجة لانجراف وانزلاق كميات كبيرة من الاطيان والصخور.

الحلول الهندسية Engineering solutions

لغرض تجنب الخسائر البشرية والاضرار المادية لابد من دراسة وتقييم اثر العوامل الجيولوجية على المنشآت الهندسية قبل واثناء ومابعد اقامة هذه المنشأت ولغرض زيادة استقرارية المنحدرات والاراضي غير المستقرة يلجأ الجيولوجيون والمهندسون الى استخدام التقنيات المختلفة للتقليل من خطر الانهيارات الارضية ومن اهم هذه الوسائل:

1خفض درجة تشبع المنحدرات الصخرية التي تعتبر عامل اساس في ضعف مقاومتها وذلك من خلال تصريف المياه المتجمعة.

2 خفض منسوب المياه الجوفية عن طريق حفر الابار لسحب كميات كبيرة من المياه مما يساعد على تقوية مقاومة التربة لحصول الانهيارات الارضية.

3 يستعمل المهندسون وسائل مختلفة لزيادة استقرارية المنحدرات منها ازالة الحمل عند المنحدرات او اضافة المواد الكيميائية او الهياكل او الركائز المعدنية او الكونكريتية التي تعمل على زيادة ممانعة الصخور لحصول الانهيارات الارضية.

4اقامة الجدران الساندة عند المنحدرات لمنع انهيار الكتل الصخرية فوق طرق النقل او المباني والمنشآت الهندسية القريبة.

5استخدام الغطاء النباتي لمنع انجراف التربة وانهيارها خاصة في المناطق المجاورة للانهار والبحيرات.

امثلة عن طرق تثبيت المنحدرات الصخرية:

تستخدم طرق عديدة من طرق تثبيت المنحدرات الصخرية تعتمد على عوامل منها: حجم الكتل الصخرية، الانحدار ، الكلفة والغرض من التثبيت (مؤقت او دائمي)... الخ:

1. المشبك الحديدي المضلع 2. الرش بالكونكريت 3. القضبان والمسامير الحديدية
4. المصاطب

طرق تثبيت المنحدرات الصخرية

امثلة عن طرق تثبيت الكتل الصخرية المنفصلة على سفوح المنحدرات

يمكن تثبيت الكتل الصخرية عن سفوح المنحدرات لدرء مخاطرها باستخدام طرق منها:

1. الجدران الساندة بالاحجار او الخرسانة
2. تنظيف المنحدرات ونقل الكتل الصخرية
3. فتح قنوات تصريف المياه

طرق تثبيت الكتل الصخرية المنفصلة على سفوح المنحدرات

التنبوء ودرء المخاطر Prediction and Prevention

ان معظم الانهيارات الارضية تحصل نتيجة لضغوطات تستمر معظمها لفترات طويلة ولذلك وبالاضافة الى الحلول الهندسية المختلفة السابقة التي يمكن اتباعها لدرء اخطار الانهيارات الارضية يلجأ المختصون الى طرق الاستكشاف الجيولوجي والجيوفيزيائي المسبق لعملية المباشرة في المشاريع الهندسية وذلك لتقييم المخاطر Risks evaluation التي قد تنجم عن اقامة مشروع كأقامة السدود والانفاق وطرق النقل والجسور. ان استخدام الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والاستكشاف الجيولوجي اثناء مرحلة استكشاف الموقع Site investigation يمكن ان يساعد المهندس المدني على المعرفة المسبقة بالتراكيب الجيولوجية في المنطقة والاثار الناجمة عن الاحمال الهندسية اثناء ومابعد اقامة المشاريع الهندسية ويلجأ الجيولوجيون والمهندسون الى اخذ العينات الصخرية لدراسة الخصائص الفيزياوية والهندسية حقليا ومختبريا والتي تساعد في التنبوء بالاخطار المستقبلية ووضع الحلول لدرء المخاطر كما طور المختصون تقنيات حديثة تتمثل بنصب المجسات والاجهزة المختلفة في المناطق غير المستقرة كمجسات قياس المحتوى المائي واجهزة قياس الضغط وميل الطبقات ومحطات المراقبة المناخية بالاضافة الى اجهزة الاستشعار عن بعد واستخدام الاقمار الصناعية واجهزة الرصد الزلزالي وانظمة المقاومة النوعية الكهربائية وغير من الوسائل التي توفر مراقبة مستمرة للمواقع وتوفر للمعنيين تقارير مفصلة عن الاخطار الآنية والمستقبلية.

معايير قياس المخاطر

يعتمد حجم أو مستوى المخاطر الناتجة عن كارثة ما على عدد من العوامل والمعايير، أهمها:

- مصدر وطبيعة الكارثة، وفي حالة الزلازل يكون الخطر أو مصدر الخطر (Hazard) هو الزلزال نفسه.
- قابلية الإصابة (Vulnerability).
- التعرض (Exposure).
- الموقع (Location).

فحجم ومستوى الأخطار، التي قد يتعرض لها المجتمع ومؤسساته يتأثر، بشكل كبير، بالعوامل المذكورة أعلاه ، وليس بالضرورة إذا كان الخطر (مصدر الخطر) كبيراً أن يُحدث خسائر ومخاطر كبيرة، فمثلاً: تتعرض اليابان، وولاية كاليفورنيا، لزلازل قوية، ومع ذلك يكون تأثيرها (أي المخاطر الناتجة) في معظم الحالات محدوداً وقليلاً أحياناً، في حين تعرضت الكثير من دول العالم الثالث، مثل: إيران والهند والجزائر وتركيا والمغرب.....الخ، الى زلازل متوسطة القوة (6 درجات حسب مقياس ريختر) أو قوية نسبياً (6.5 درجة حسب مقياس ريختر تقريباً)، وكانت الخسائر كبيرة، وهذا يعود، في الغالب، الى ارتفاع مستوى قابلية الإصابة الزلزالية (Seismic Vulnerability) لكل من المباني ومنشآت البنى التحتية، بالإضافة لضعف جاهزية (استعدادية) وقدرة (capacity) المؤسسات والإنسان في هذه الدول. ولتوضيح العلاقة بين المخاطر (Risks) من جهة، وكل من الاخطار (Hazards) وقابلية الإصابة والقدرة من جهة أخرى، يمكن تبسيط العلاقات الرياضية التي تستخدمها المراجع العلمية في عملية تحليل المخاطر (Risk Analysis)

المخاطر (Risk) = الخطر (Hazard) × قابلية الإصابة (Vulnerability)

الجاهزية/ أو القدرة (Capacity)

حيث:

الاخطار ***Hazards***:

وهي احتمالات ظهور حدث يعمل أضراراً كامنة أو محتملة في منطقة ما ضمن زمن محدد.

المخاطر ***Risk*** :

وهي درجة التوقع لفقدان الأرواح، وكمية الأضرار للممتلكات أو مستوى الإضرار للاقتصاد اثر وقوع الكارثة.

- قابلية الاصابة ***Vulnerability*** :

وهي درجة الفقدان أو قابلية الإصابة للعناصر المعرضة للمخاطر نتيجة وقوع الكارثة ، ومن أهم العناصر التي تكون عرضة للمخاطر: السكان، والخدمات، والمرافق العامة، والأبنية، والأعمال الهندسية، والتجارة والاقتصاد ، إضافة إلى البنية التحتية.

أسباب الهزات الأرضية Earthquake Causes

يمكن تصنيف المصادر المسببة للهزات الأرضية الى ما يلي:

أ – أسباب طبيعية لا دخل للإنسان بها. Natural causes

ويمكن أن تحدث الزلازل نتيجة لعدد من الظواهر الطبيعية منها:

- الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes.
- الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes.
- الزلازل الانهيارية Collapse Earthquakes.

ب – أسباب غير طبيعية. Unnatural causes

وهي الزلازل التي تنتج من نشاطات الإنسان (Man-Made Earthquakes) التي تخل باتزان القشرة الأرضية مثل:

- التفجيرات الكيماوية والنووية Chemical and Nuclear Earthquakes.
- الضجيج الحضري Cultural Noise.
- الردميات والحفريات مثل البحيرات الصناعية الكبيرة والمحاجر العملاقة.
- استخراج كميات كبيرة جداً من المياه الجوفية والسوائل، وحقن السوائل في بعض أماكن التنقيب او استخراج النفط.

1 الزلازل التكتونية Tectonic Earthquake

يصنف المختصون الهزات الأرضية التكتونية (السنوي 1997) بشكل عام الى صنفين:

- الزلازل الواقعة على حدود الصفائح التكتونية، ويشكل هذا النوع من الزلازل 90% من مجموع الزلازل التي حصلت، وعموماً يتوافر لهذا الصنف من الزلازل عدد كبير من الدراسات الزلزالية.
- الزلازل القارية، وهي التي تقع بعيداً عن حدود الصفائح (في داخلها)، وبسبب قلة الدراسات المتعلقة بهذا النوع، فإن أسبابها وأوضاعها التكتونية غير مفهومة تماماً.

وعموما تنشأ الزلازل التكتونية نتيجة للحركة النسبية للصفائح المشكلة للقشرة الأرضية، حيث يبدأ تراكم الاجهادات الداخلية في الصخور الواقعة على حدود الصفائح المتحركة، وعندما تصبح قيم الاجهادات المتراكمة اكبر من قيمة الاجهادات القصوى التي يمكن ان تتحملها الصخور فإنّ ذلك يؤدي إلى تشكل صدوع (فوالق) عبر السطح الضعيف، وبسبب وجود اجهادات عالية حول التشققات تنتشر وتتكاثر التشققات، الأمر الذي يؤدي إلى حصول تحرك فجائي للصخور في منطقة التشققات، مما يؤدي إلى إطلاق كمية هائلة من الطاقة المتراكمة وبشكل فجائي محدثة زلزالاً في المنطقة. وتعتبر

الهزات التكتونية أهم أنواع الهزات الأرضية الطبيعية، فإضافة لكون 90 % من العدد الكلي للهزات المسجلة ذات طبيعة تكتونية، فان هذا النوع من الهزات يوصف:

- بشدته الكبيرة،
- و بتاثيره على مساحات واسعة،
- و بتسببه بحدوث دمار وخراب كبيرين.

2. الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes

في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية، تندفع الصخور المنصهرة والمنطلقة من الأعماق الصهارية باتجاه الطبقات الخارجية، مما قد يؤدي الى تراكم وتركيز الاجهادات على هذه الطبقات، وبالتالي احتمال حدوث صدوع فجائية وحركات اهتزازية للقشرة، وقد يرافق، أو يتبع ذلك، انطلاق الصهارة بسرعة إلى الخارج. واستناداً إلى عمق المركز الجوفي في الزلازل البركانية يمكن تصنيف هذه الزلازل إلى ثلاث مجموعات:

- عمق المركز الجوفي D = 1-10 Km
- عمق المركز الجوفي D < 1 Km
- المركز الجوفي على سطح الأرض تقريباً، وفي العادة يكون تأثير هذا النوع من الزلازل شبيهاً بالانفجارات.

وعموماً تعتبر الزلازل البركانية أقل شدة من الزلازل التكتونية، ومنطقة تأثيرها محدودة بمساحة صغيرة من سطح الأرض. كما أن الزلازل البركانية يمكن أن تحدث بشكل متواصل لفترات طويلة نسبياً وتسبب في هذه الحالة رجفات بركانية متواصلة.

3. الزلازل الانهيارية Collapse Earthquakes

يحدث هذا النوع من الزلازل نتيجة حصول انهيارات في عمق الأرض، مثل انهيارات الكهوف والمغر الكبيرة، وبشكل عام، يكون تأثير الزلازل الانهيارية محلياً ومحدوداً بمناطق صغيرة، وذلك بسبب ضآلة الطاقة الزلزالية المتولدة.

الخرائط الطوبوغرافية (الكنتورية) والجيولوجية

TOPOGRAPHIC & GEOLOGIC MAPS

الخرائط الطبوغرافية (الكنتورية)

وهي الخرائط التي توضح الرسم الافقي لأجزاء مختلفة المناسيب من سطح الأرض وفقا لمقياس رسم معين.
وتبين هذه الخارطة الشكل العام لسطح الأرض ومواقع المدن والطرق والحدود وغيرها.

اشتق مصطلح (طبوغرافيا) من الكلمتين اليونانيتين (TOPOS) و معناها (مكان) و (GRAPHIA) و معناها (طريقة رسم أو وصف). و من ثم تعنى كلمة طبوغرافيا :

الوصف أو الرسم التفصيلى للمكان

الخريطة الكنتورية : هى حالة خاصة من الخريطة الطبوغرافية وهى تشمل فقط على خطوط الكنتور لإظهار الأبعاد الثلاثة لسطح الأرض. ولا توضح فيها المعالم البشرية.

الخريطة الجيولوجية

وهي تمثيل هندسي Geometrical Representation لطبيعة سطح الارض مبينا عليها بوضوح توزيع الطبقات الصخرية وعلاقتها ببعضها وطبيعة التراكيب الجيولوجية

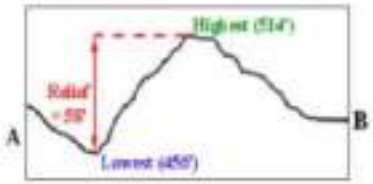
أجزاء الخرائط الكنتورية

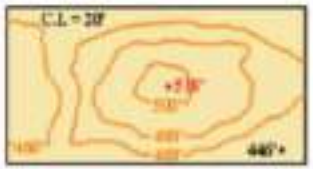
1- الخط الكنتوري (خط التسوية)(contour line) : هو الخط الذي يصل بين النقاط المتساوية الارتفاع عن مستوى سطح البحر .

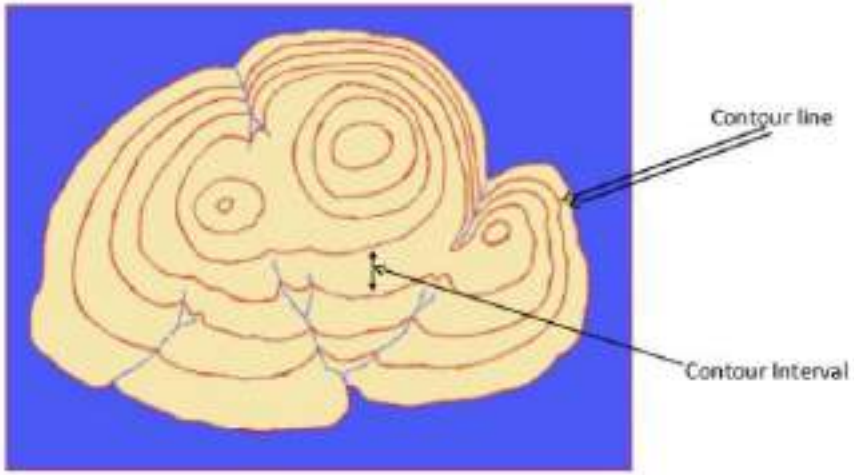
2- الفاصل الكنتووري (المسافه الرئسية) (contour interval) : هو الفرق العمودي في الارتفاع بين خطين متتالين من الخطوط الكنتورية.

3- التضاريس (علو المنطقة) (topographic relief) : وهو الفرق بين اعلى واخفض نقطتين في المنطقه التي تمثلها الخارطه .

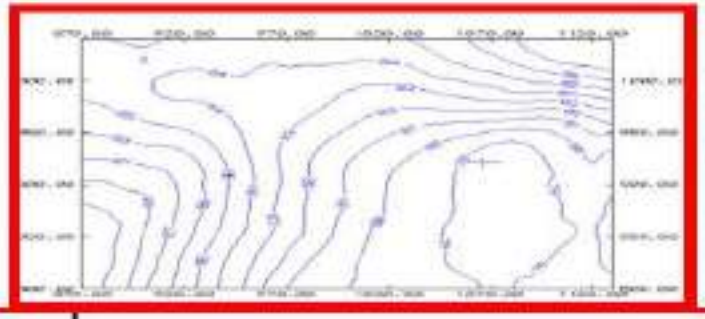
أجزاء الخرائط الكنتورية

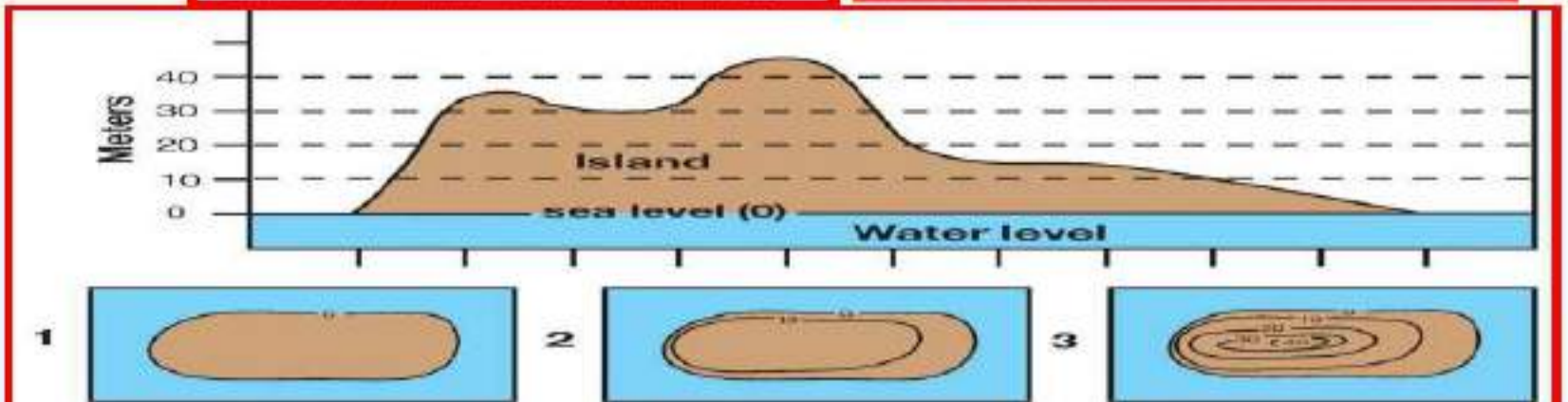






أمثلة لأشكال خطوط الكنتور

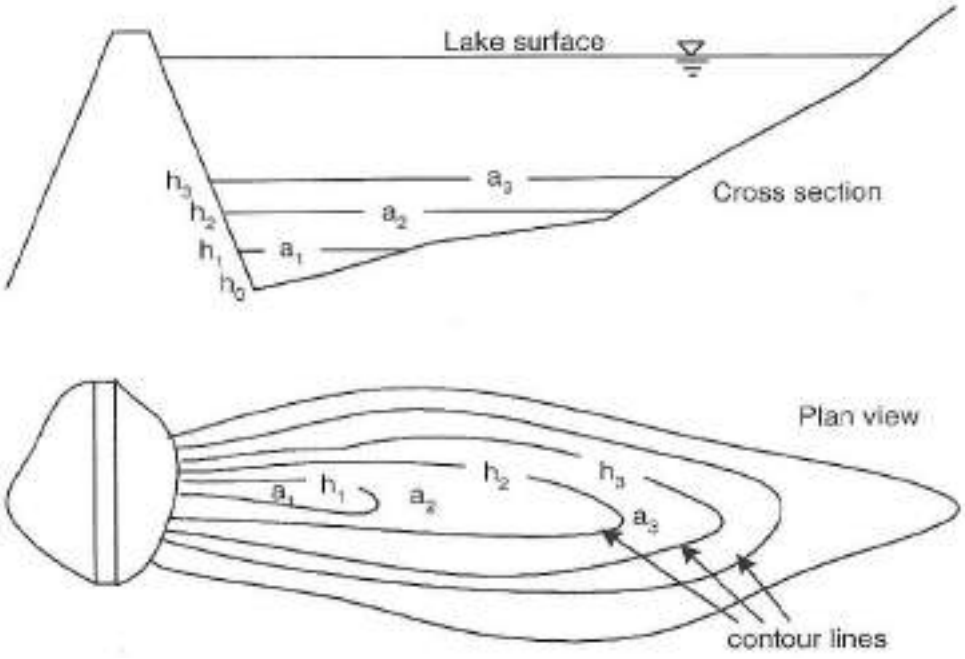




اهميتها في مجال هندسة الموارد المائية:

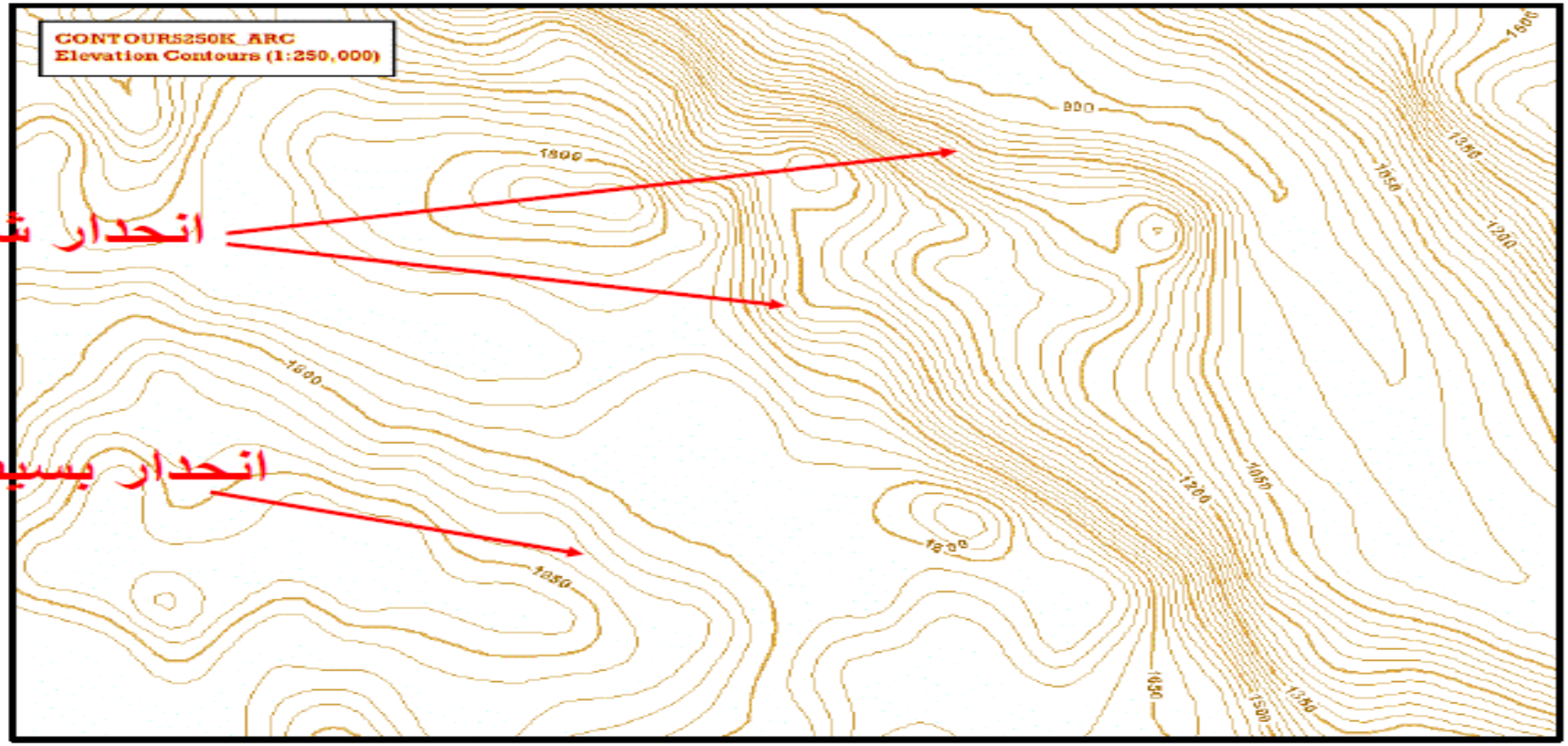
- تسهيل عملية إيجاد الموقع المناسب لإقامة المشاريع الهندسية المهمة كالسدود وخطوط الانابيب القنوات المائية
- تساعد على حساب كمية الاعمال الترابية اللازمة في عملية القطع والرصف ومن ثم تجنب الاماكن التي فيها كلفة عالية .
- تساعد على حساب كمية المياه المتوفرة في المسطحات المائية (خزانات وبحيرات)

يتم تعيين موقع السد على الخرائط الطبوغرافية بحيث يكون عموديا على اتجاه الوادى وفى أضيق مسافة بين طرفيه وذلك بهدف تقليل كمية الأعمال الهندسية المطلوبة لإنشائه. ويمكن حساب كمية المياه المختزنة خلف السد عند كل منسوب من مناسيب خطوط الكنتور، كما يمكن رسم منحنى يمثل العلاقة بين منسوب المياه وكمية المياه المختزنة.



الاسس العامة للخرائط الطبوغرافية

-جميع الخطوط الواقعة على نفس الخط الكنتوري لها نفس الارتفاع
- جميع الخطوط الكنتورية يجب أن تغلق اذا كانت في وسط الخارطة) داخل الخارطة ماعدا تلك الواقعة في حافتها .
- الخطوط الكنتورية لا تتقاطع ابدا الا في حالات نادرة جدا مثلا وجود مغارة
- لا يمكن لأي خط كنتوري أن يقع بين خطين اعلى أو اقل منه قيمة .
- تتناسب شدة انحدار الأرض مع المسافات بين الخطوط الكنتورية إي كلما تقاربت الخطوط الكنتورية دل على شدة اندار الأرض والعكس صحيح .



تعيين الشكل العام للسطح الطبوغرافى

تستخدم الخرائط الطبوغرافية والكنتورية للتعرف على مظاهر تضاريس Terrain feauters (ارتفاع وانخفاض) السطح الطبوغرافى وأهمها:

المظاهر الرئيسية Major Terrain Feautres

١ - التل Hill ٢- الوادى Valley ٣- سلسلة جبلية Ridge

٤- السرج\الممر Saddle/Pass ٥- المنخفض Depression

المظاهر الثانوية Minor Terrain Feautres

٦- الراسم Draw ٧- النتوء Spur ٨- الجرف Cliff

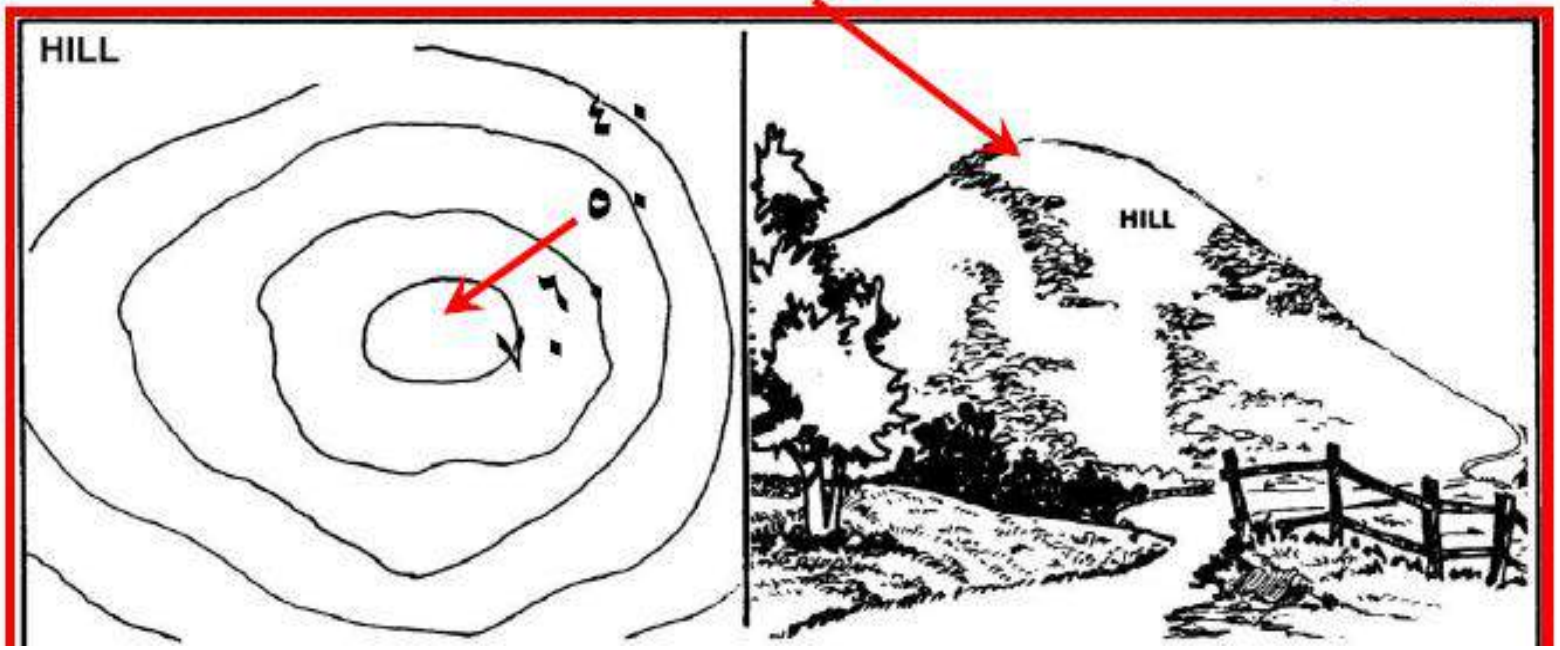
المظاهر الإضافية (من صنع الإنسان) Sublementary Terrain Feautres

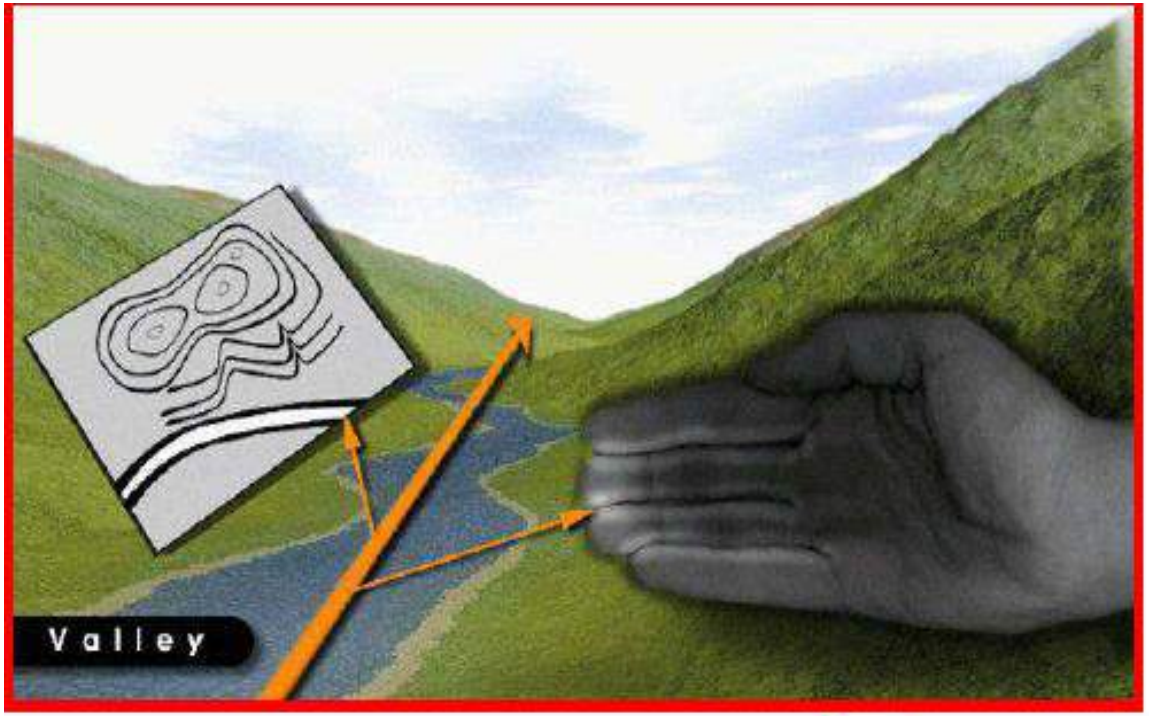
٩- الحفر Cut ١٠- الردم Fill

المظاهر الرئيسية

١- التل Hill

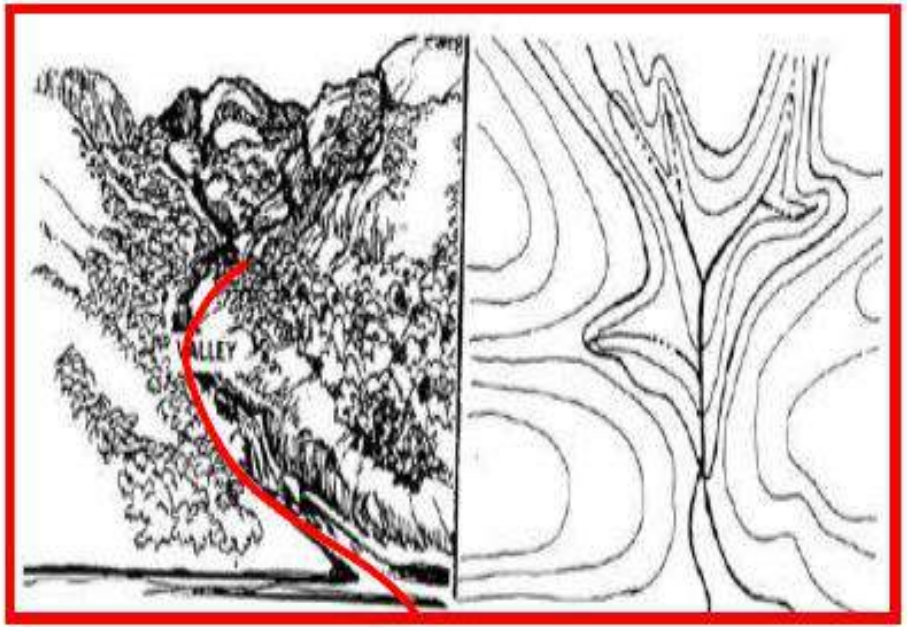
- مرتفع محدود عن الأرض وجوانبه منحدره فى جميع الاتجاهات.
- خطوط الكنتور على شكل دوائر تقريبية مغلقة
- تزداد قيمتها نحو الداخل (المركز)

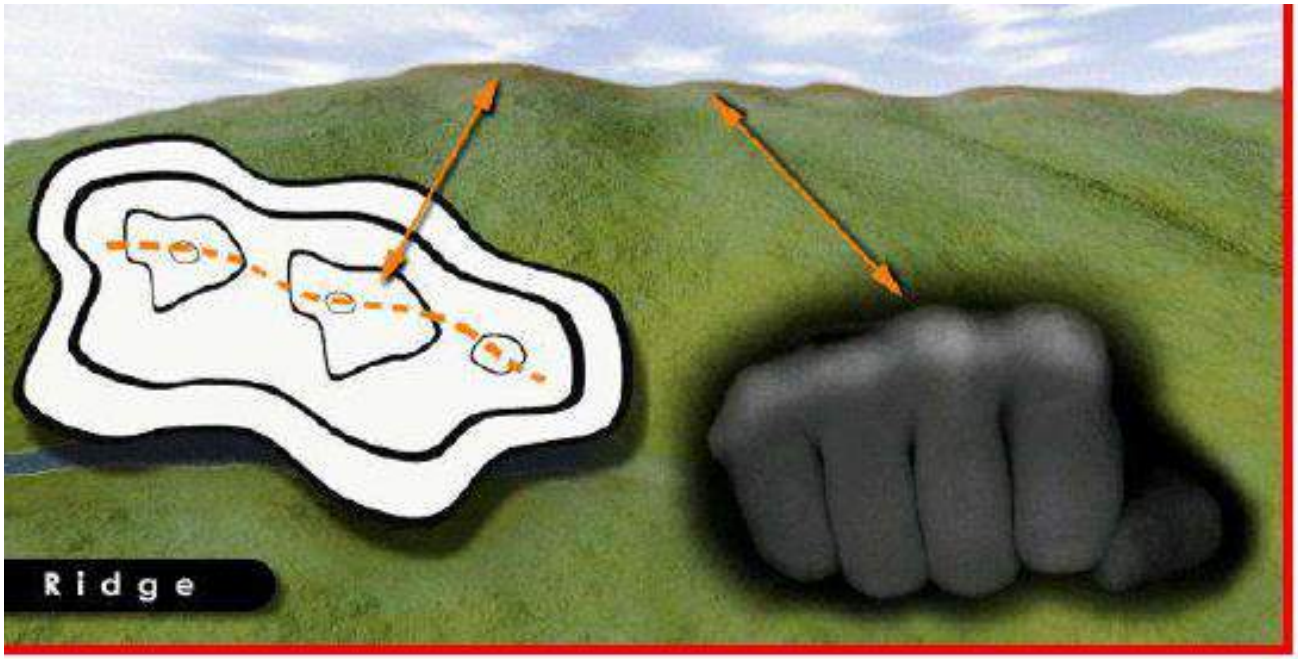




٢- الوادى Valley

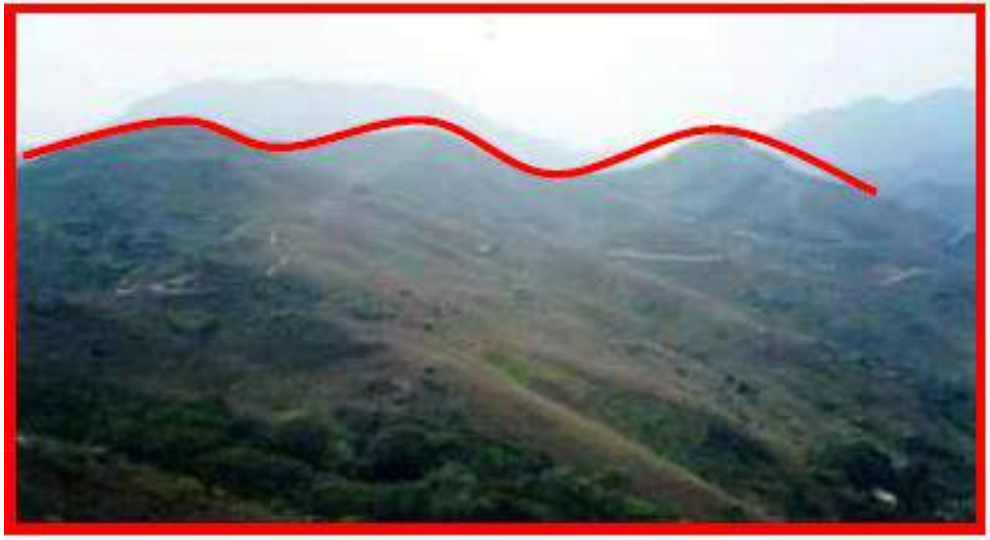
- أرض منخفضة باتجاه معين من المنبع الى المصب
- خطوط الكنتور ممتدة طوليا
- القطاع العرضى للأرض على جانبيه يكون على شكل V
- تزيد القيم من الداخل للخارج

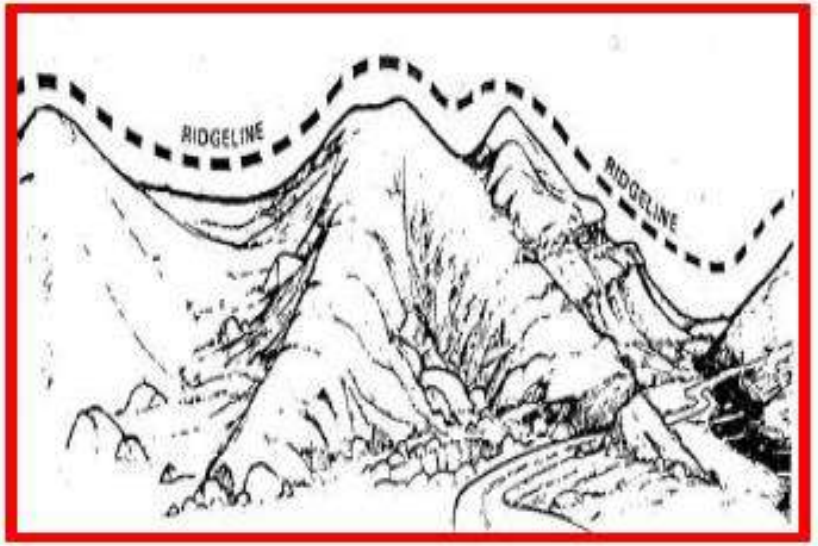


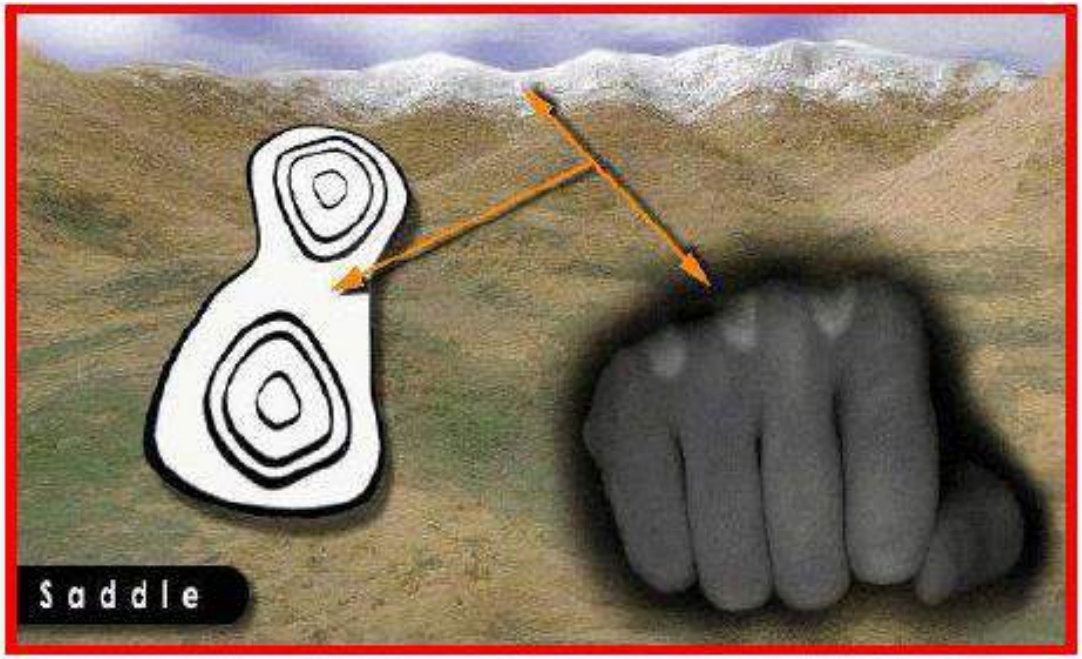


٣- سلسلة جبلية
Ridge

-هو أقصر مسار يصل بين قمتين متجاورتين

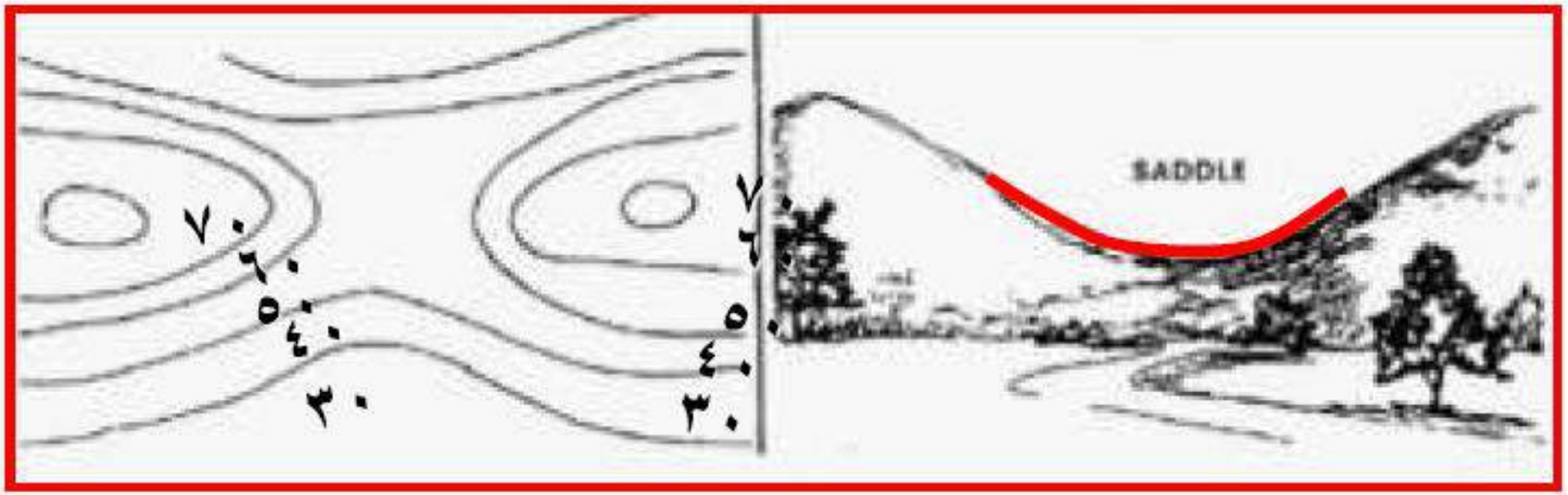


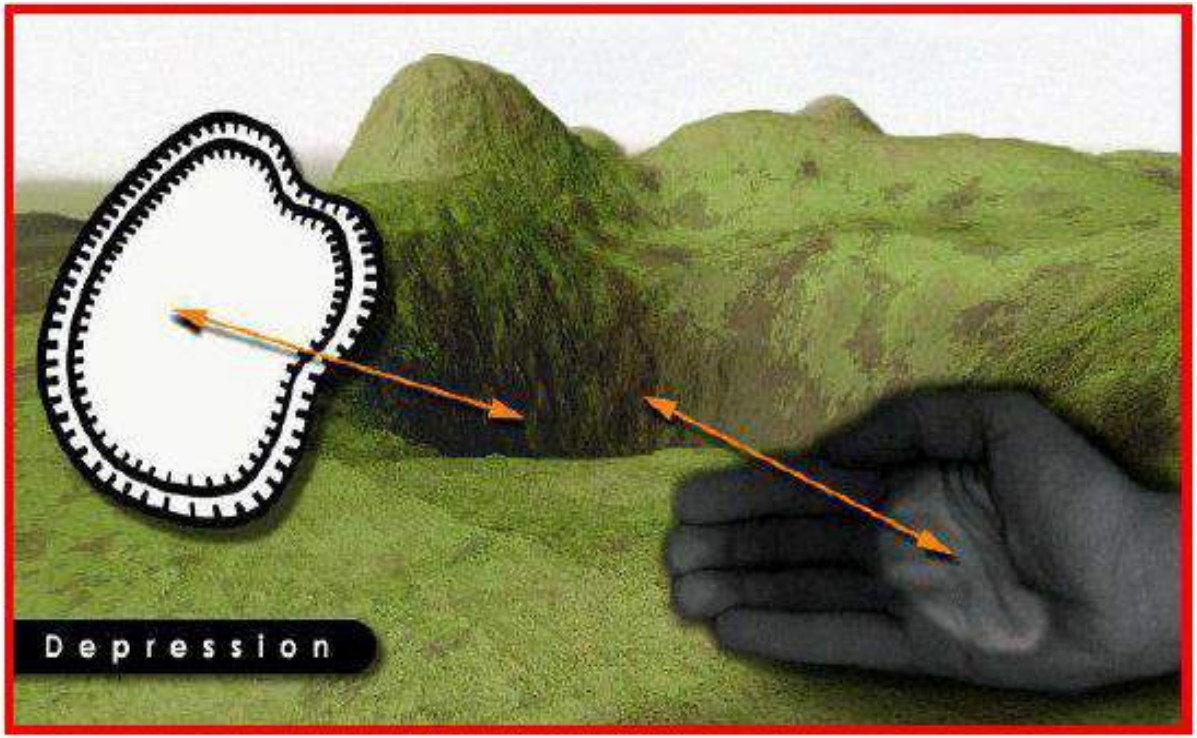




٤- السرج \الممر
Saddle / Pass

- انخفاض بين قمتين فى جبل واحد
- خطوط الكنتور على جانبيه على شكل مجموعتى دوائر تقريبتين بينهما منطقة خالية من الكنتور



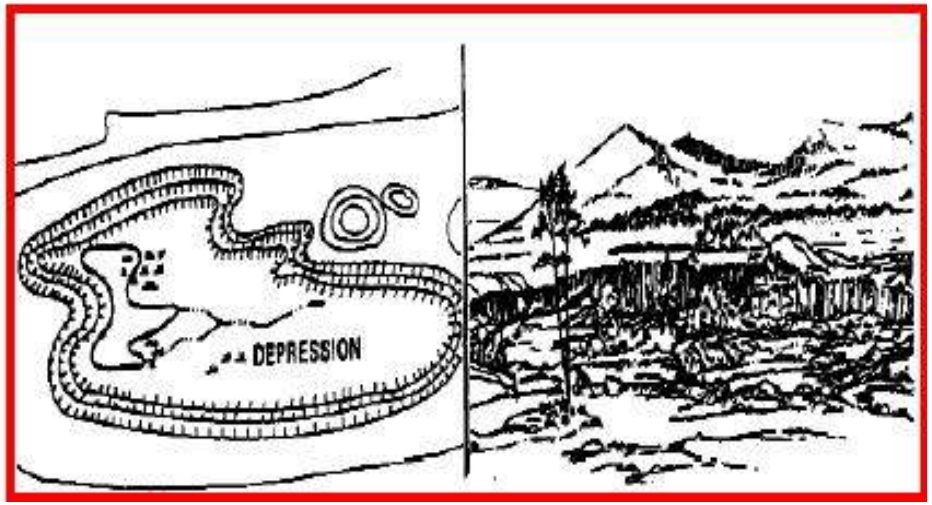


٥- المنخفض
Depression

-أرض منخفضة

-خطوط الكنتور مقفلة

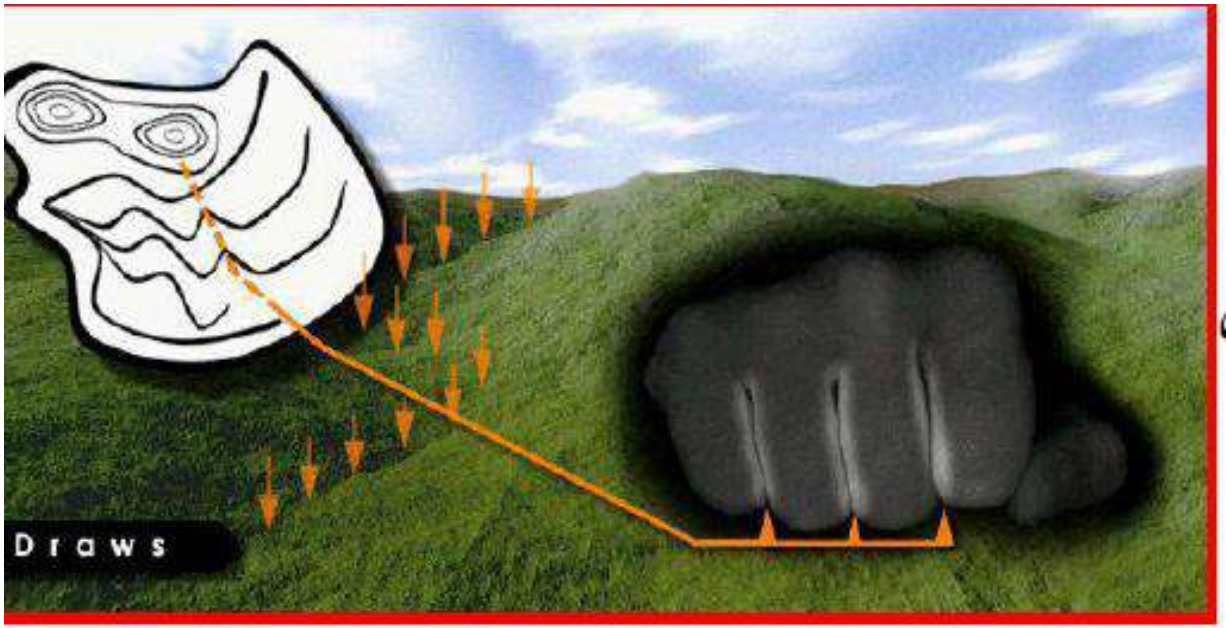
وقيمها تقل للداخل

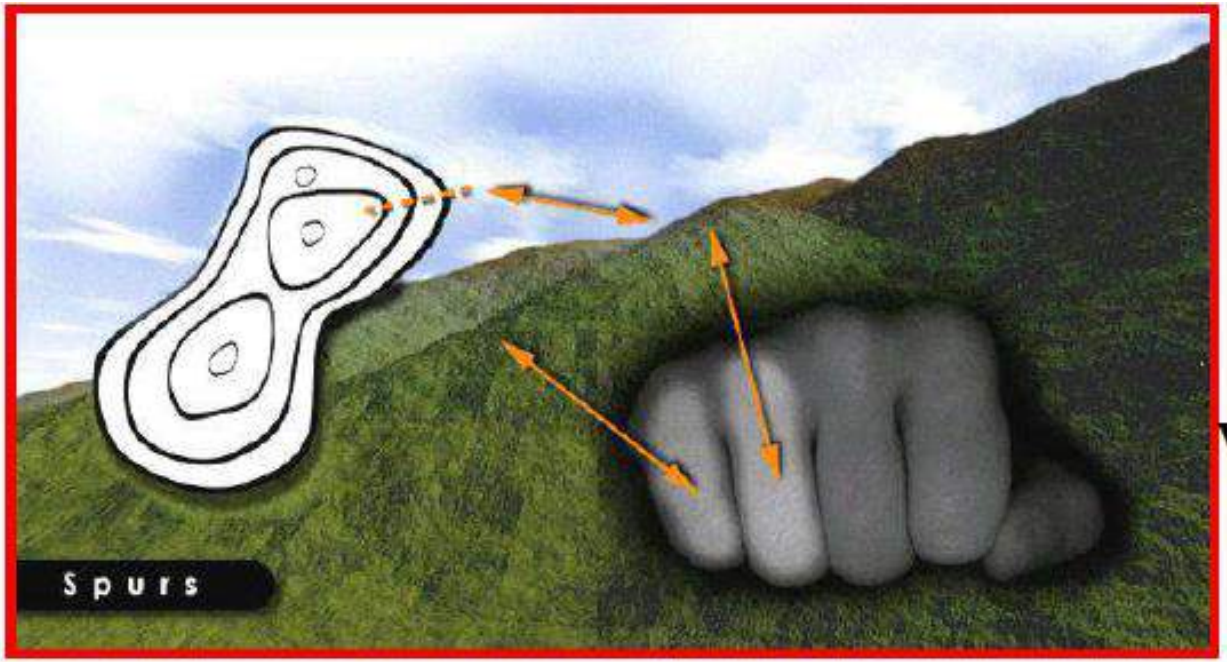


المظاهر الثانوية

٦- الراسم Draws

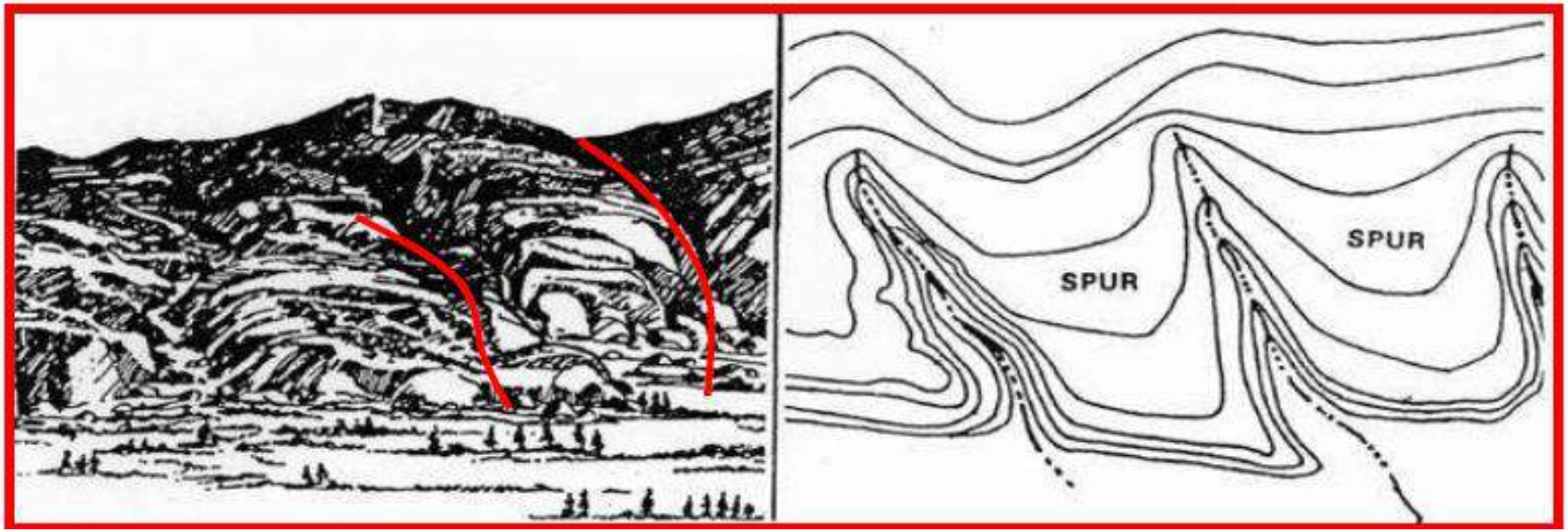
- يشبه الوادى ولكن بميول أقل
- انحداره ومنسوبه غير منتظمين

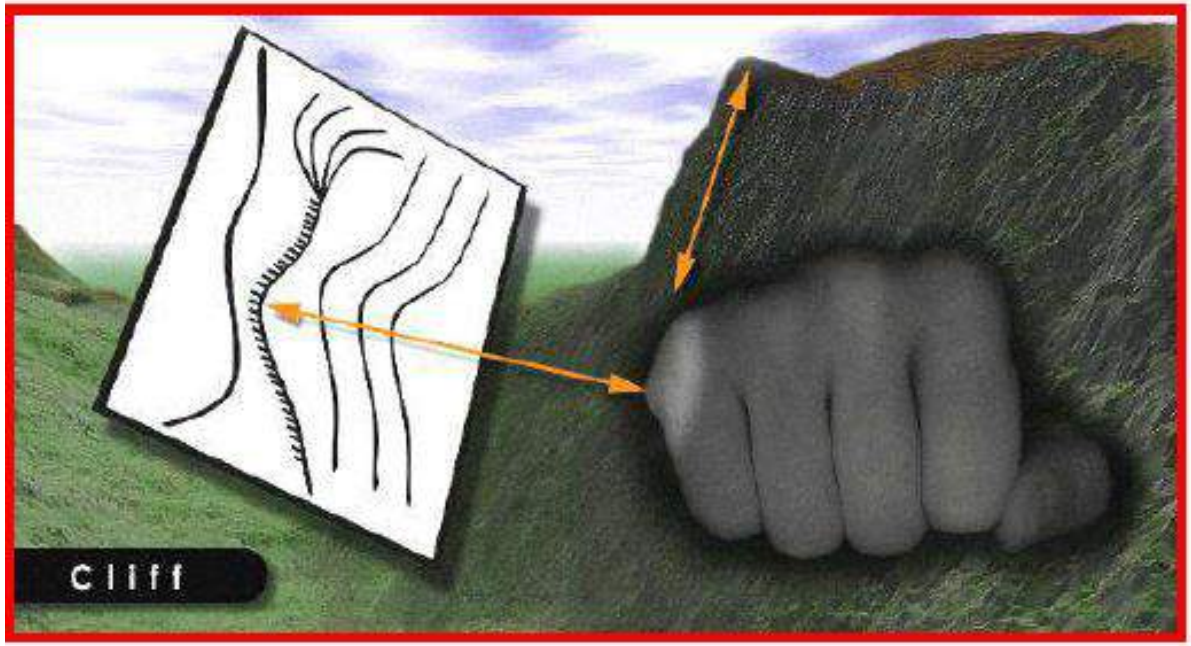




٧- النتوء Spur

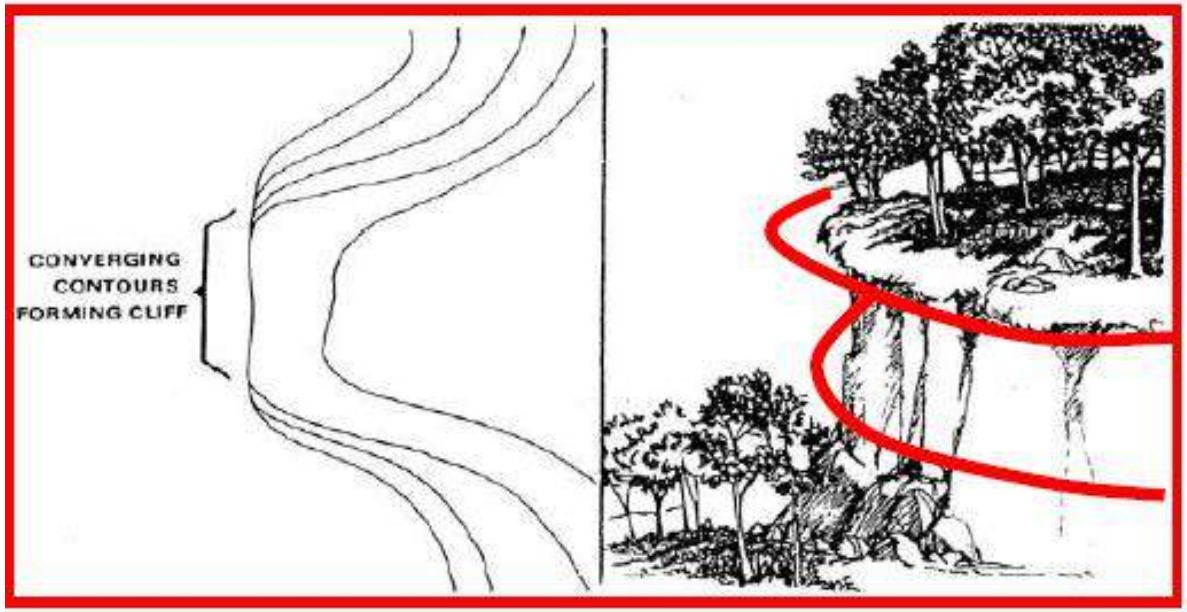
- امتداد ظاهر فى جانب التل أو الجبل
- خطوط الكنتور على شكل V
- رأسه ناحية الكنتور الأقل



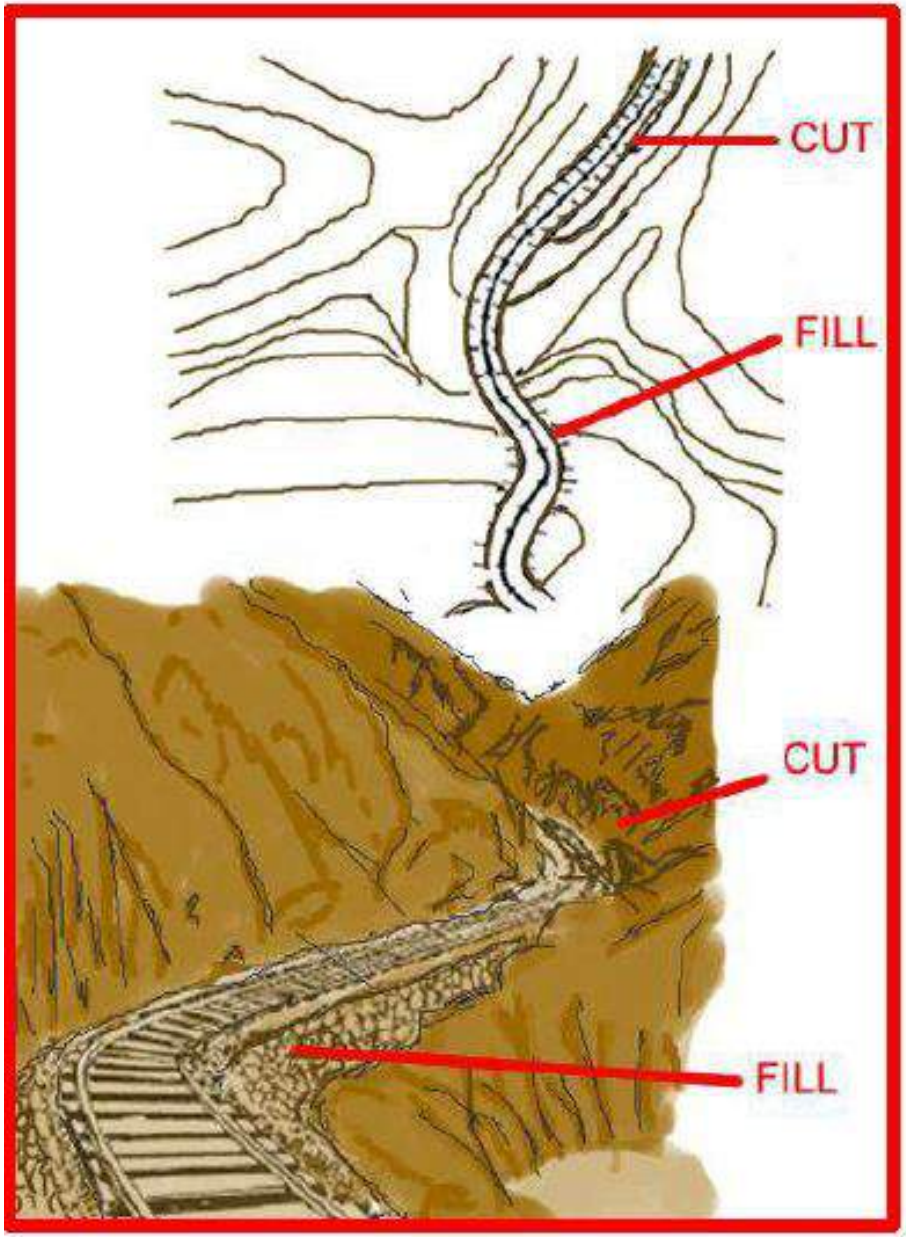


٨- الجرف Cliff

- أرض شديدة الانحدار أحد حدودها رأسى أو شبه رأسى
- خطوط الكنتور متقاربة جدا أو منطبقة فى حالة الجرف الرأسى

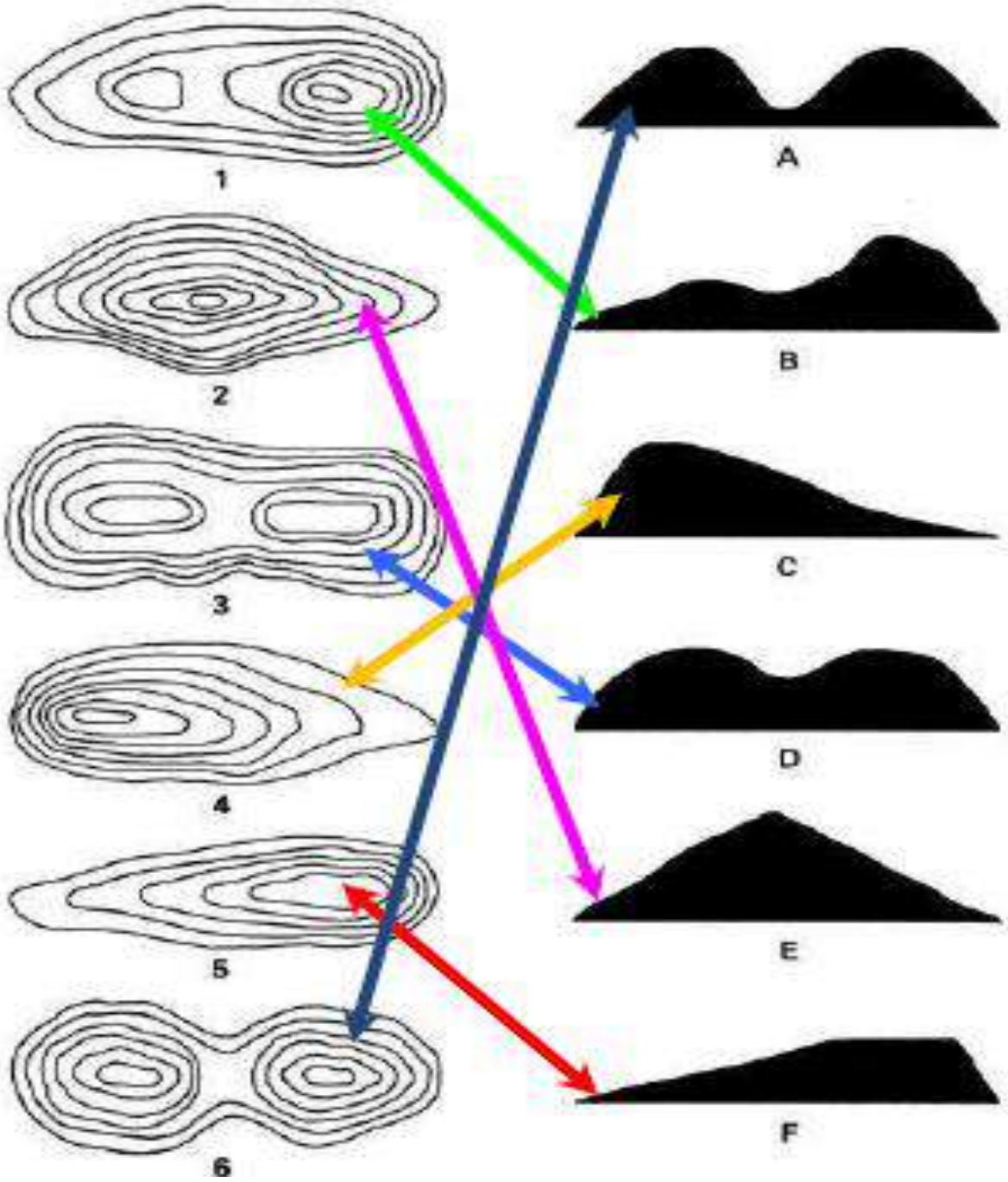


المظاهر الإضافية (المضافة بمعرفة الإنسان)



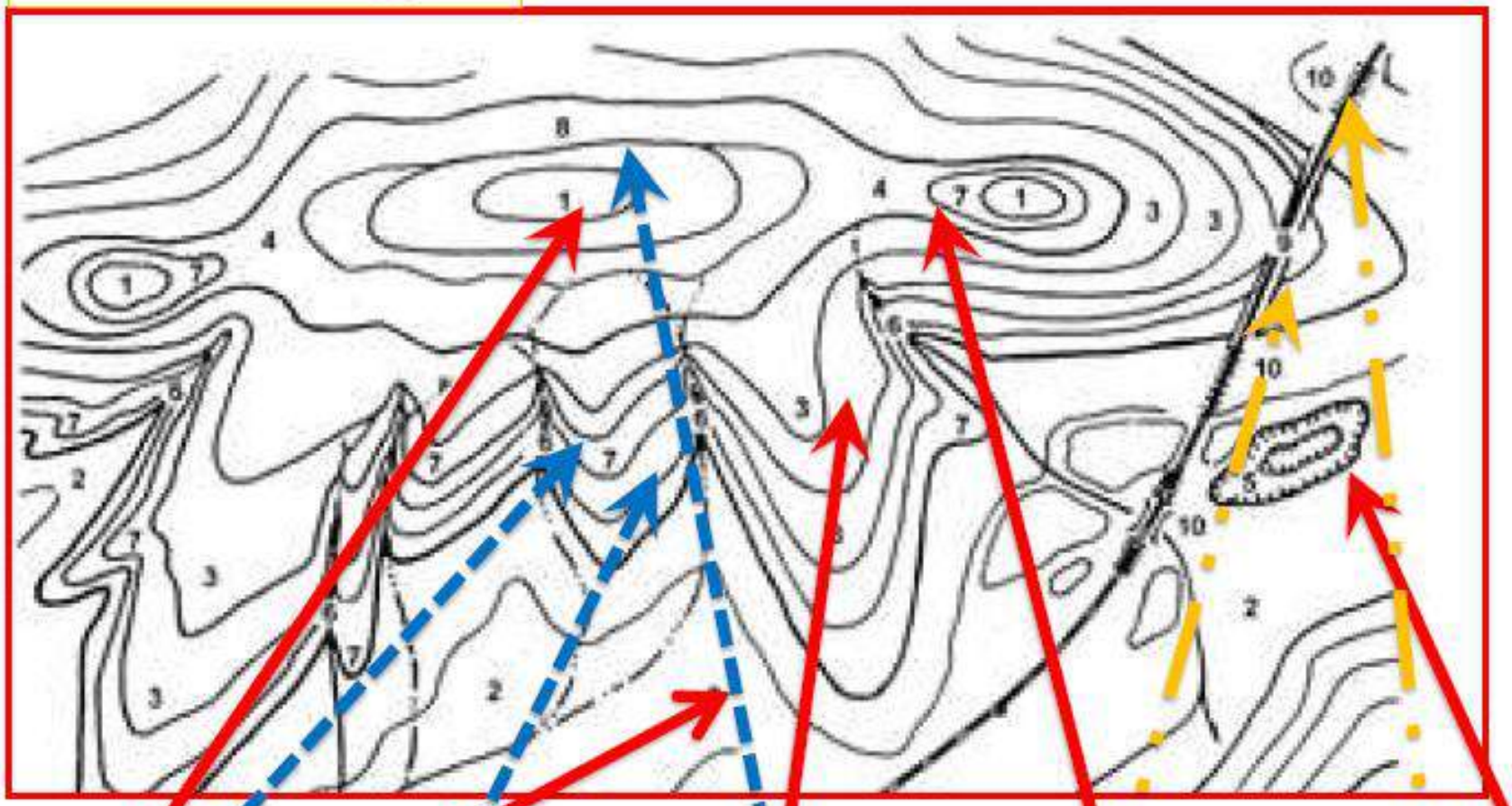
٩- الحفر Cut

١٠- الردم Fill


1
2
3
4
5
6
A
B
C
D
E
F

خريطة توضيحية لأشكال خطوط الكنتور لمظاهر تضاريس السطح الطبوغرافى

رئيسى
ثانوى
إضافى



١ـ التل Hill	٢ـ الوادى Valley	٣ـ سلسلة جبلية Ridge	٤ـ السرج Saddle–	٥ـ المنخفض Depression
٦ـ الراسم Draw	٧ـ النتوء Spur	٨ـ الجرف Cliff	٩ـ الحفر cut	١٠ـ الردم Fill

رسم المقاطع الطبوغرافية (البروفيل) Profile Drawing

تعريف المقطع الطبوغرافى (Profile) : هو الخط البيانى الذى يمثل تغيرات تضاريس سطح الأرض من خلال خطوط الكنتور. فهو يعطى صورة سريعة ومبسطة ودقيقة لتضاريس الأرض بالنسبة لمستوى سطح البحر. فهو الخط الناتج من تقاطع مستوى رأسى يمر بنقطتين محددتين فى الخريطة مع التضاريس الطبوغرافية لسطح الأرض. ويرتفع بارتفاع سطح الأرض من جبال وهضاب وغيرها وينخفض بانخفاضه فى مناطق السهول والوديان والأحواض.

طريقة رسم المقطع الطبوغرافى بين النقطتين (أ) و (ب) على خريطة كنتورية:

١ - توصيل خط مستقيم بين النقطتين على اللوحة باستخدام قلم رصاص خفيف ثم ترقيمه.

٢- رسم محور أفقي (خط الأساس) بنفس مقياس الرسم على ورقة ملليمترية يساوي طول أ – ب.

٣- قراءة مناسيب خطوط الكنتور التى يقطعها الخط ا ب لتحديد مقياس الرسم الرأسى بناءا على أكبر وأقل قيمة للكنتور

٤- نرسم محورين رأسيين متعامدين على المحور الأفقى عند كل من النقطتين ا و ب

٥- يقسم المحورين العموديين الى وحدات تناسب مقياس الرسم الرأسى ثم ترقيمهم

٦- وضع الحافة السفلى للورق المليمتري ملاصقة للخط ا ب

٧- تحديد نقط تقاطع خط المقطع ا ب مع كل كنتور ثم إسقاطه رأسيا على الورقة الملليمترية وبما يتوافق مع مقياس الرسم الرأسى

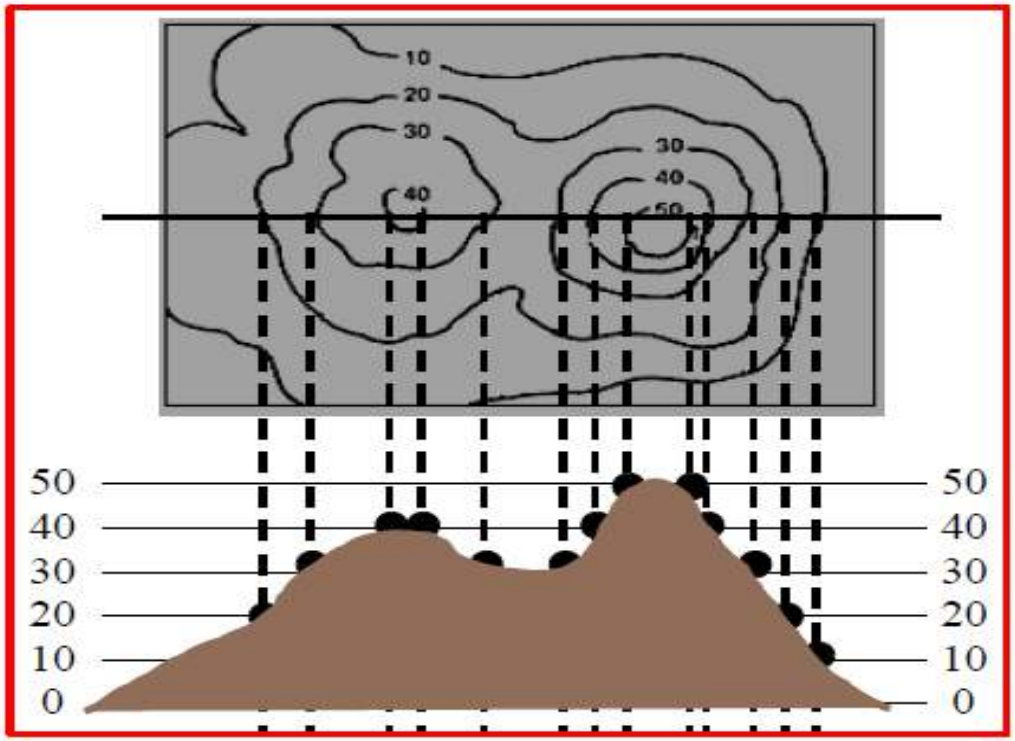
٨- الربط بين نهايات الأعمدة بخط منحنى رقيق لرسم المقطع الطبوغرافى المطلوب .

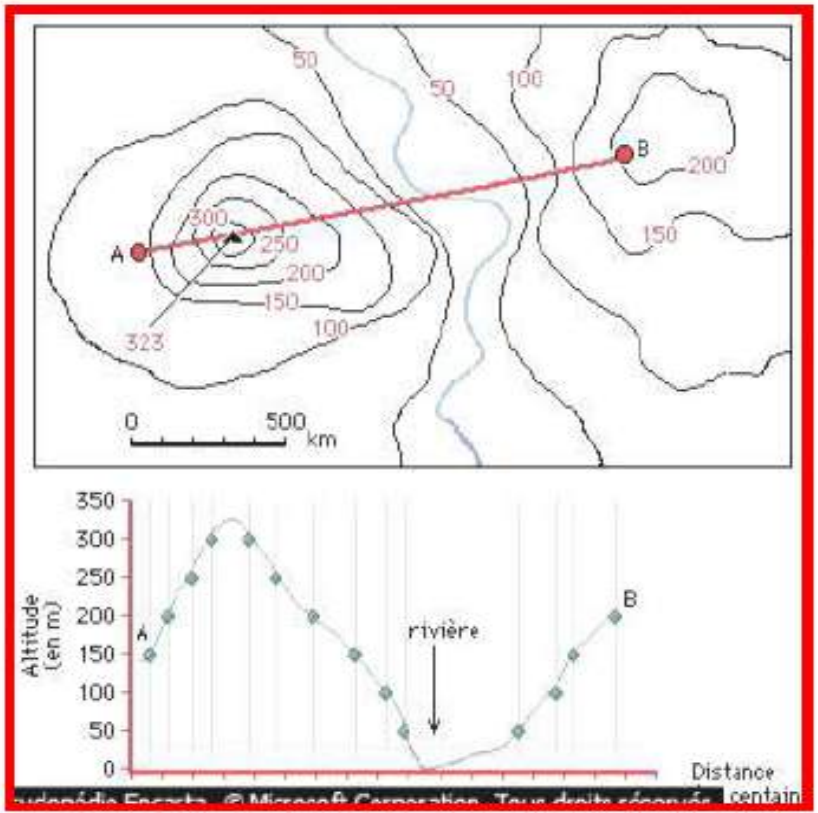
٩- تحديد اتجاه القطاع بالنسب للشمال

١٠- كتابة مقياس كلا من مقياس الرسم الأفقى وارأسى فى مكان واضح على الورقة المليمترية

*** ملحوظة: فى معظم الحالات لا يتساوى مقياس الرسم الرأسى مع الأفقى

امثلة عملية لرسم المقطع الطبوغرافى





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.

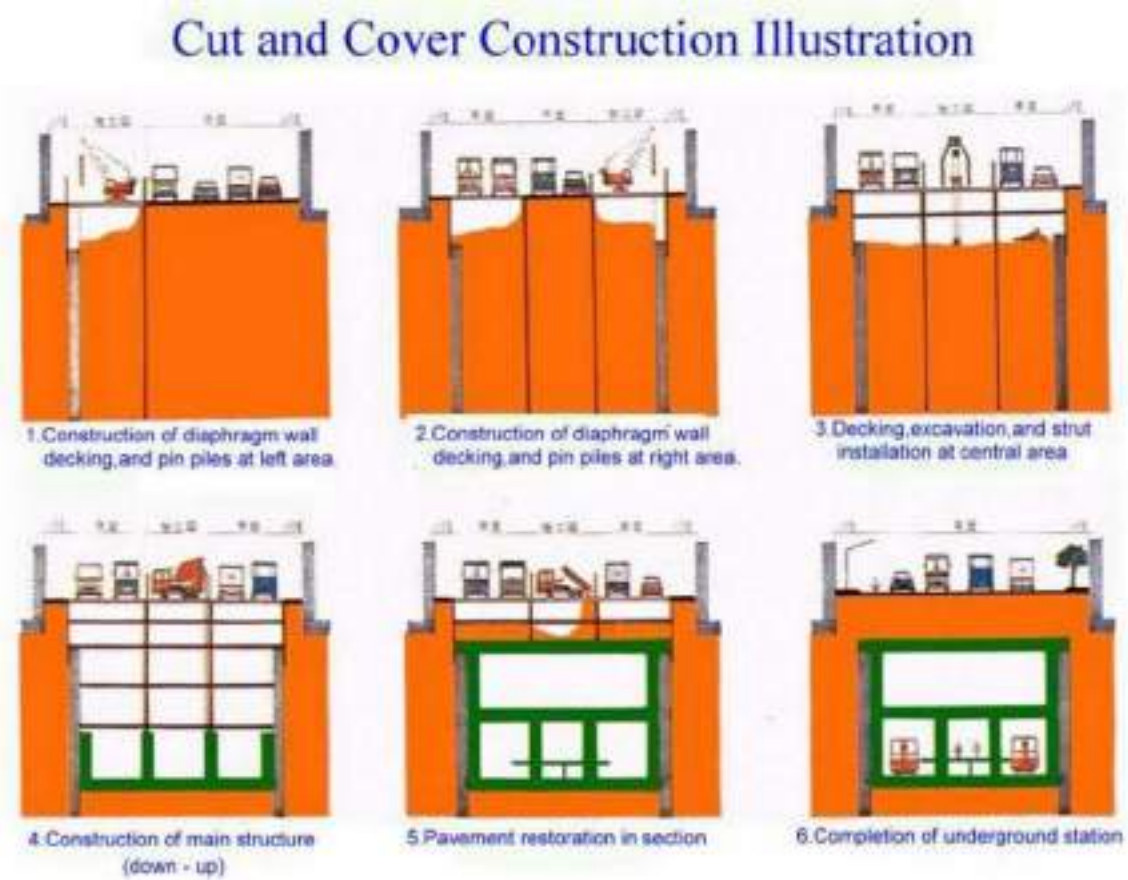
طرق تنفيذ الانفاق:Methods of tunnel construction

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.



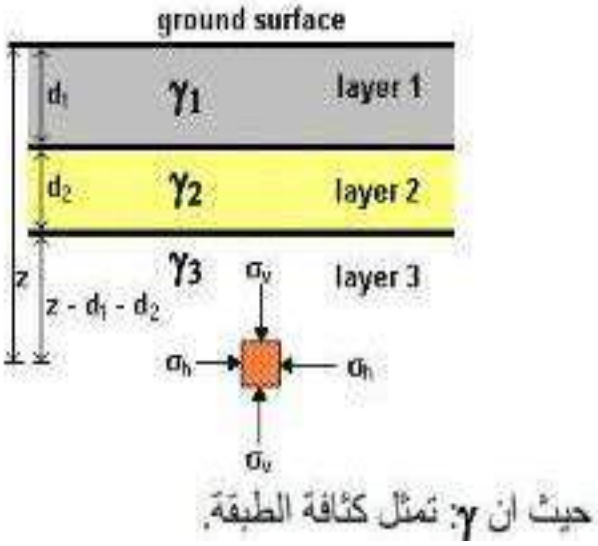
The stresses generated by the construction of the tunnel:

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 .

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

$$\sigma_h = k_o * \sigma_v$$



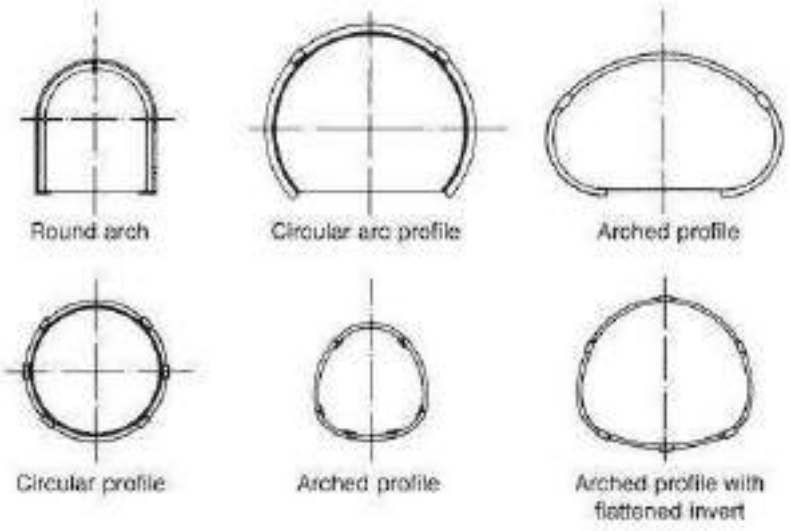
سمك الطبقة :d **ثابت الانضغاط الافقي عند السكون. :ko**

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:

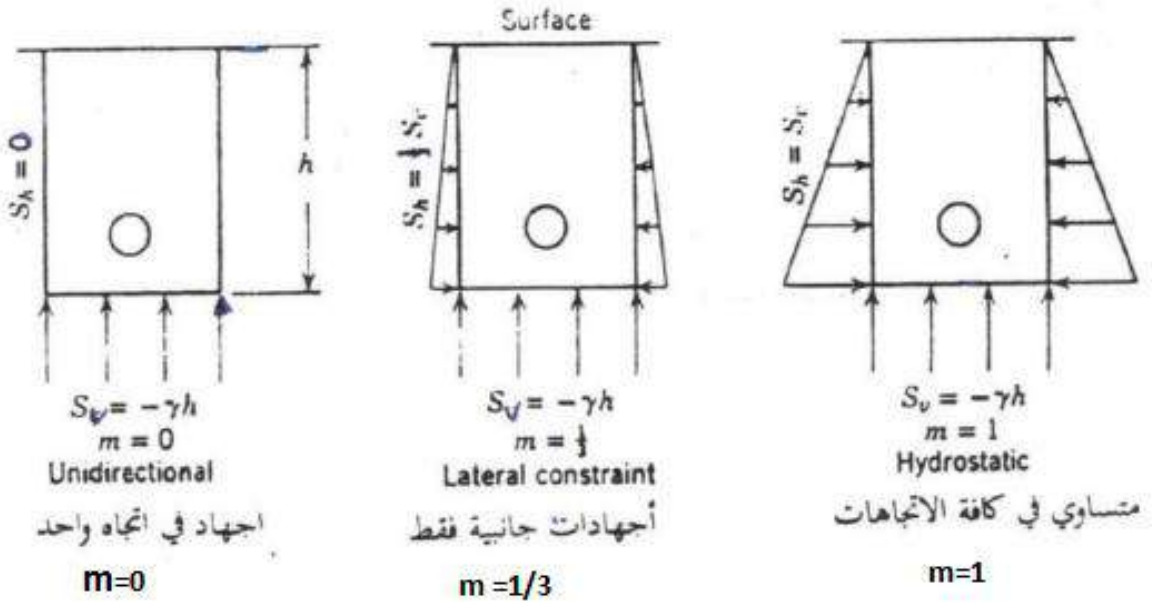
$$\sigma'v = -\gamma h$$

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



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 (v) **Poisson ratio** كالاتي

Ơh/Ơv = v/(1-v)= m

For rocks : Poisson ratio between 0.15-0.40

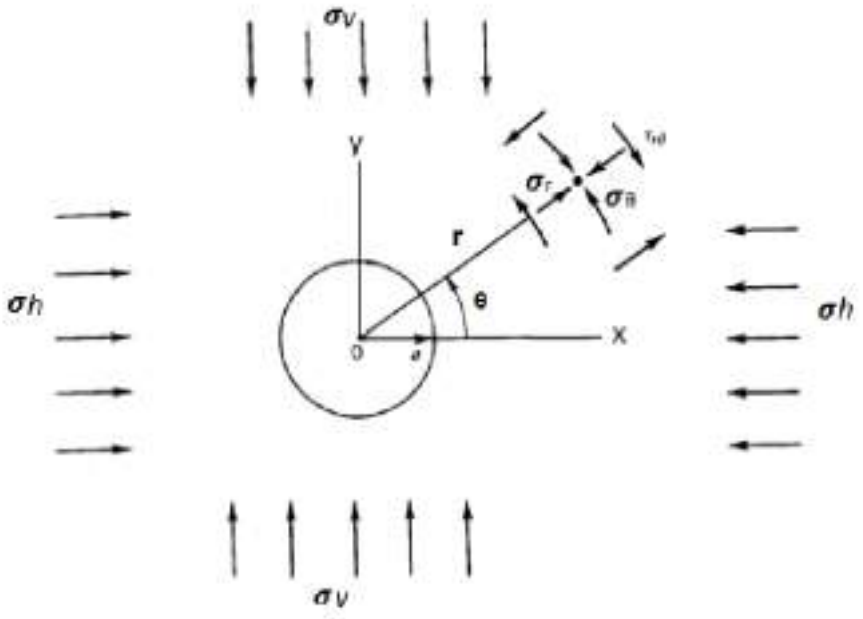
توزيع الاجهادات حول الفتحة الدائرية (نفق دائري)
(Stress Distribution Around Circular Opening)

يمكن استخدام حل كيرج solution of Kirsch لتوزيع الاجهادات:

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

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

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



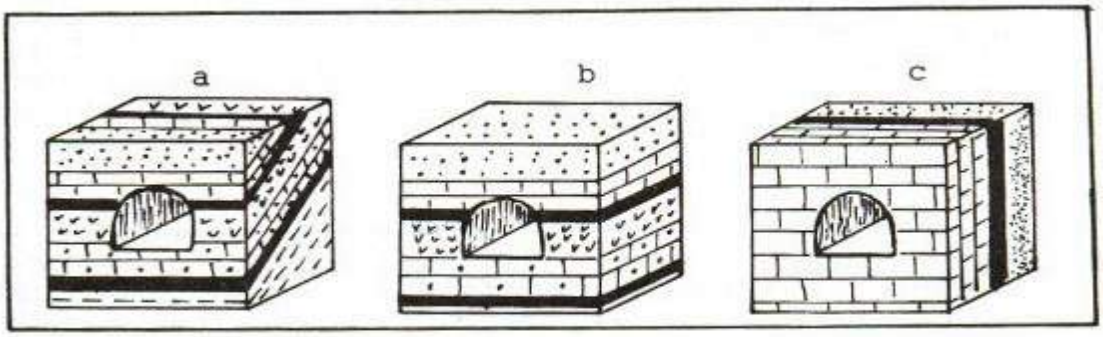
Stresses around a circular hole in anisotropic initial stress field (solution of Kirsch).

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.

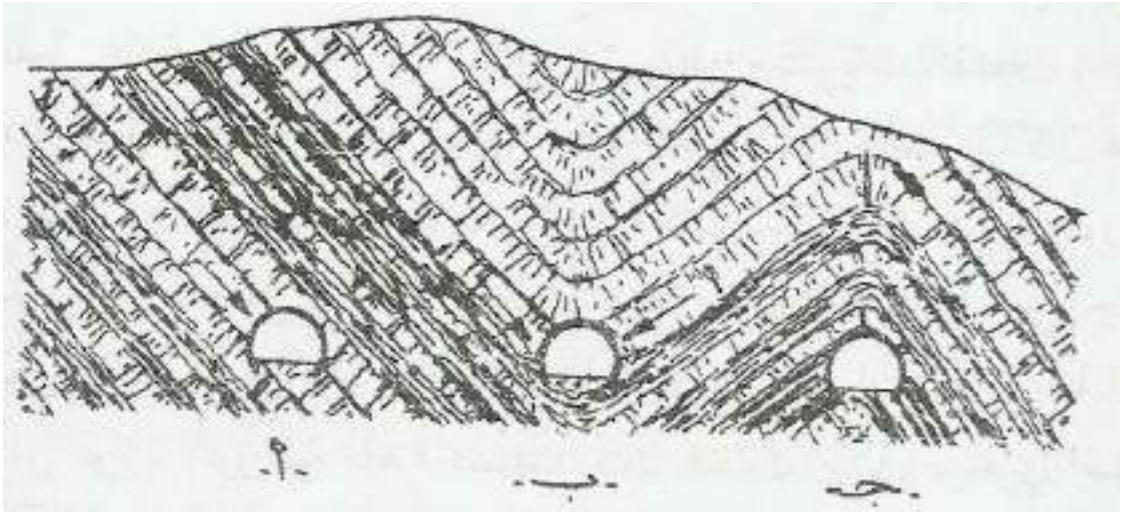
الشكل(ب) يوضح النفق يخترق الثنيات المقعرة : •يزداد الضغط العمودي على تبطين النفق.

•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.

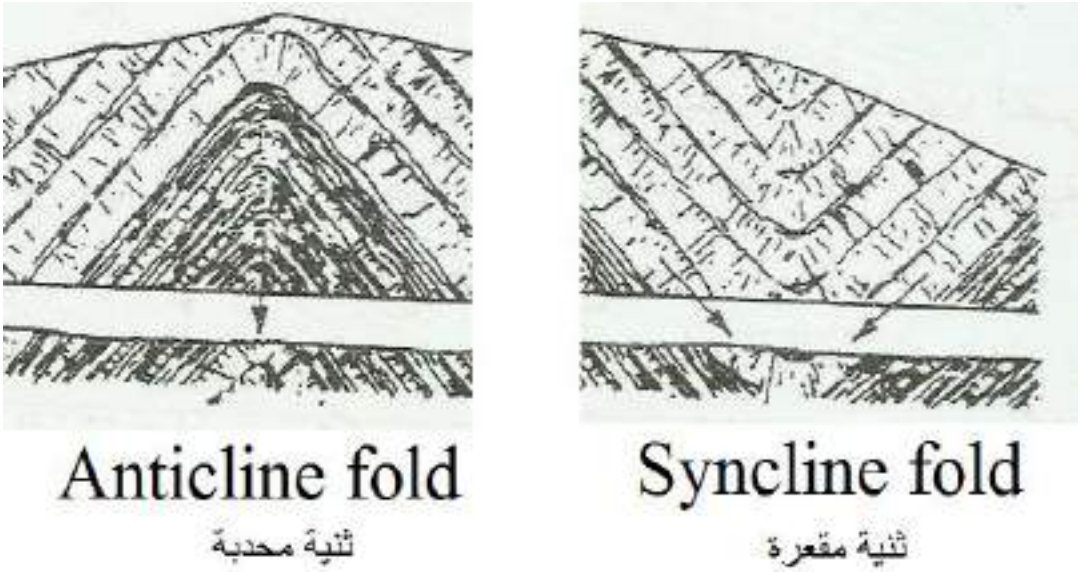
•نتيجة التقوس العالي فان ذلك سيؤدي الى حصول اجهادات شد يؤدي الى تشقق الصخور.



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 .

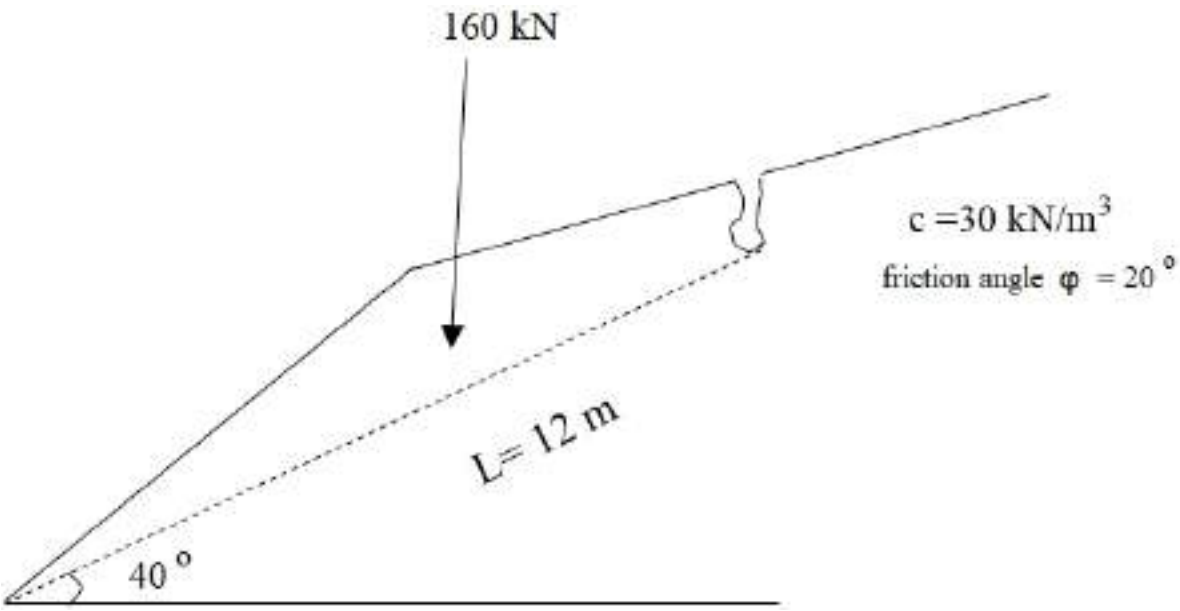
الانفاق خلال المياه الارضية

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