

الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology

د. عاصم احمد حسن

عنوان المقرر: الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology

وصف المقرر:

تعريف الجيولوجيا الهندسية، أهميتها، اهدافها ومجالاتها، الخصائص الفيزيائية والهندسية للتربة والصخور، العوامل الجيولوجية المؤثرة في المنشآت الهندسية والاعمال المخترية والحقلية في الموقع الهندسية، المشاكل الهندسية في التربة والصخور، اسبابها ومعالجتها، الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والخرائط الجيولوجية الهندسية واستخداماتها في المشاريع الهندسية وكتابة التقارير وطرق التحري المستخدمة في التطبيقات الهندسية.

أهداف المقرر:

1. فهم الطالب للجيولوجيا الهندسية، أهميتها، اهدافها ومجالات عملها المختلفة.
2. دراسة الخصائص الفيزيائية والهندسية للصخور والتربة وأهميتها في التطبيقات الهندسية.
3. التعرف على المشاكل الهندسية للتربة والصخور وطرق معالجتها عند اقامة المنشآت الهندسية.
4. استخدام الطرق الجيولوجية المختلفة في اعداد الدراسات والمسوحات وكتابة التقارير في مجال الجيولوجيا الهندسية.
5. دراسة الخرائط الجيولوجية الهندسية، أهميتها، رسمها وكيفية استخدامها.

المصادر العربية:

1. كنانة ثابت، رياض حامد الدباغ ويوسف عمرو (1979). مبادئ الجيولوجيا الهندسية. جامعة الموصل.
2. مجيد عبود الطائي (1989). الجيولوجيا الهندسية. جامعة البصرة.
3. زهير رمو فتوح، كنانة محمد ثابت وسانان الجسار (1990). الجيولوجيا الهندسية. جامعة الموصل.
4. دنكان، ن. الجيولوجيا الهندسية وميكانيك الصخور. ترجمة د. كنانة محمد ثابت، د. محمد علاء الدين حمدي، د. زهير رمو فتوح. جامعة الموصل. (1988).

المصادر الاجنبية:

1. Engineering Geology and Geotechnics by Bell, F. G., 1980.
2. Engineering Geology: Rock Engineering in Construction by Goodman, R.E., 1993
3. Engineering Geology: An Environmental Approach by Rahn, P. H., 1986
4. Engineering Geology by Zaruba, Q., and MenclL, V., 1976.

مقدمة Introduction:

الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology كأحد فروع الجيولوجيا يرتبط بقسمين رئيسيين:

علم الارض Geology والهندسة Engineering.

ان مصطلح Geology هي كلمة لاتينية مكونة من مقطعين Geo وتعني الارض و logy وتعني الارض، فالجيولوجيا (علم الارض): هو علم يختص بدراسة الارض، نشأتها وتطورها، مكوناتها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية وعلاقتها ببعضها البعض والقوى التي تعمل على تغيير شكلها... ومن خلال التعريف اعلاه نستنتج بان علم الارض علم له جوانب نظرية واخرى تطبيقية يستند في على مختلف العلوم الاخرى كالفيزياء والكيمياء والاحياء والرياضيات، ولذا ينقسم علم الارض الى فروع عديدة ومنها:

1. علم المعادن Mineralogy
 2. علم الصخور Petrology
 3. الجيولوجيا الفيزيائية Physical Geology
 4. علم المتحجرات Palaeontology
 5. علم الطبقات Stratigraphy
 6. الجيوفيزياء Geophysics
 7. الجيوكيمياء Geochemistry
 8. جيولوجيا النفط Petroleum Geology
 9. الجيولوجيا التركيبية Structural Geology
 10. الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology
-بالإضافة الى فروع اخرى عديدة.

الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology:

تعريف: هو احد فروع علم الارض الذي يهتم بدراسة اثر العوامل الجيولوجية المختلفة على الاعمال والمنشآت الهندسية وتقييم المخاطر ووضع الحلول للمشاكل التي قد تصاحب او تنتج عن اقامتها ، ولذلك هو علم تطبيقي يبحث في علاقة الصخور والتربة ومختلف التراكيب الجيولوجية للارض بالمنشآت الهندسية التي يتم انشاؤها فوق او في داخل الارض كالسدود والطرق والجسور والسكك الحديدية والانفاق وابار البترول ومناجم التعدين وذلك باستخدام المعطيات والمبادئ والطرق الجيولوجية لدراسة التربة والصخور والموانع والعمليات الجيولوجية المختلفة وعلاقاتها واثارها على تصميم وبناء وعمل المنشآت الهندسية المختلفة.

ولهذا يهتم هذا التخصص بتطبيقات علم الجيولوجيا في الاعمال الهندسية المدنية والمنجمية والبيئية ويعني بأعداد جيولوجيين قادرين على دراسة اثر البيئة الجيولوجية على المنشآت الهندسية وتقييم المخاطر الهندسية والبيئية المحتملة التي قد تنتج او تصاحب العمليات الانشائية والطبيعية.

ولهذا يتطلب من المتخصصين في هذا المجال الالمام بـ:
نشأة الارض، انواع الصخور وطريقة تكونها، التراكيب الصخرية كالصدوع والطيات وانواعها، الخواص الفيزيائية (الطبيعية) والميكانيكية (الهندسية) للصخور والتربة، المياه السطحية والجوفية، استخدام الطرق الجيولوجية المختلفة في دراسة مواقع اقامة المنشآت الهندسية واستخدام وتحليل ورسم الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية الخاصة بها واستخدام تقنيات التحسس النائي والالمام بتصنيف الصخور وانواعها كما يتطلب الالمام بعلم المساحة وميكانيكا الصخور ومواد البناء والقدرة على اجراء التجارب المختبرية والدراسات الحقلية على التربة والصخور وفحص المواقع المختارة للمنشآت الهندسية ويكمل ذلك القدرة على كتابة التقارير ورسم الخرائط وتقديم الاستشارات حول الطبيعة الجيولوجية والتركيبية واثارها المحتملة على مواقع المشاريع الهندسية والمشاركة في وضع الحلول للمشاكل الناتجة.

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 او المصاحبة لاقامة المشاريع الهندسية.

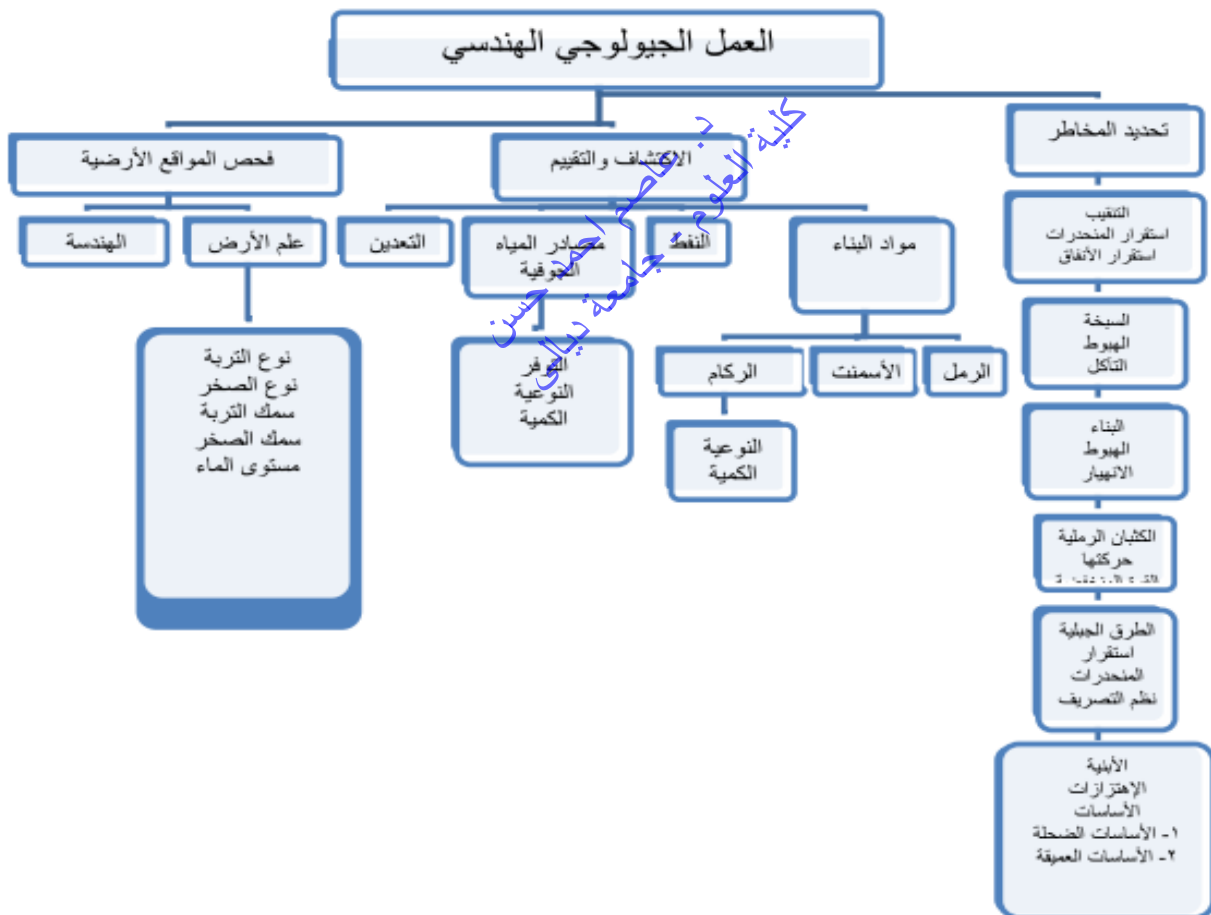
4. تقييم الاثار الناتجة عن الفيضانات والزلازل والبراكين والتصحّر وإيجاد الحلول المناسبة لها.
5. المساهمة في نشر التوعية البيئية والجيولوجية من كل ما يهددها من مخاطر والمساهمة في درء هذه المخاطر من خلال تقديم البحوث والمنشورات العلمية في مجالات الجيولوجية الهندسية والبيئية.

دور الجيولوجي الهندسي The role of Engineering Geologist

يمكن تلخيص دور الجيولوجي الهندسي بـ:

1. فحص المواقع الارضية Examination of the ground conditions
2. الاكتشاف والتقييم Exploration and assessment
3. تحديد المخاطر Identification of hazards

هذه المهام الرئيسية موضحة في المخطط التالي:

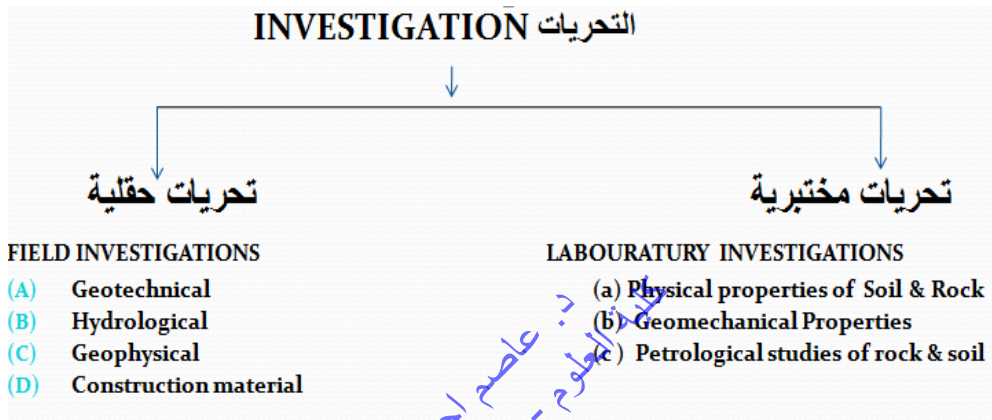


The role of Engineering Geologist

الطرق التي يعتمد عليها الجيولوجي الهندسي:

1. الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية الحقلية للتكاوين والتراكيب الجيولوجية المختلفة.
2. استخدام الصور الجوية والفضائية ومختلف تقنيات التحسس النائي Remote Sensing.
3. اخذ العينات السطحية وتحت السطحية وحفر الابار وتقنيات الجس البئري المختلفة.
4. استخدام الفحوصات المختبرية والحقلية المختلفة لدراسة خصائص ومواصفات التربة والصخور.
5. استخدام طرق التحري الجيوفيزيائي والجيوكيميائي المختلفة.
6. كتابة التقارير واعطاء التوصيات وتحديد المخاطر واجراءات السلامة المطلوبة في المواقع الهندسية.

ويتطلب منه القيام بنوعين من التحريات:



العوامل التي يجب اخذها بنظر الاعتبار في عمل الجيولوجي الهندسي:

1. طبوغرافية المنطقة.
2. نوعية الترب والصخور السطحية والتحت سطحية، خصائصها وتصنيفها.
3. عوامل التجوية والتعرية المختلفة.
4. الفجوات الصخرية Cavities .
5. حركة المياه السطحية والجوفية ومستوياتها.
6. مضرب وميلان الطبقات الصخرية.
7. التراكيب الجيولوجية المختلفة.

علاقة الجيولوجيا بالهندسة المدنية :

هناك ترابط وثيق بين علم الجيولوجيا والهندسة المدنية لان المهندس المدني يقوم بتشييد ابنيته على او في داخل الارض ومايتبع ذلك من اثار مهمة للبيئة الجيولوجية والخصائص الفيزيائية والهندسية للصخور والتربة على استقرارية وسلامة المنشآت الهندسية وادامتها ولهذا فان المعرفة الجيولوجية المسبقة بالمنطقة والتحريات الجيولوجية والجيوفيزيائية ضرورية جدا لمختلف الاعمال الهندسية، كما ان الاعمال الهندسية كحفر الاسس والفحوصات المختبرية والحقلية تعود بالمقابل بالفائدة على الجيولوجي ايضا ولذلك لابد من التعاون المشترك بين الجيولوجي والمهندس المدني عند تشييد الاعمال والمشاريع الهندسية المختلفة.

لقد اقتصر الاستخدام الاولي للمفاهيم الجيولوجية على دراسة المعادن والصخور في مجال التعدين في بداية الامر للحصول على الوقود كالفحم او المواد الانشائية كالرمل والحصو الا انه ومع التقدم العلمي والتوسع العمراني ازدادت الحاجة الى التحريات الجيولوجية نتيجة لظهور المشاكل الهندسية الناجمة عن العمليات الجيولوجية الطبيعية كالفيضانات والزلازل اضافة الى الانزلاقات والانهيارات الارضية بسبب عدم المام المهندس المدني بطبيعة وخصائص الصخور والتربة والتراكيب الجيولوجية تحت سطحية التي قد تكون سببا رئيسيا لمعظم المشاكل الهندسية خاصة في المشاريع الضخمة كالسدود والطرق والجسور. ان المهندس المدني لايمكن من القيام بدراسات جيولوجية تفصيلية متكاملة كما لايمكن للجيولوجي من استخدام المبائ الجيولوجية بمفرده في حل المشاكل الهندسية ولذلك لابد من التعاون المشترك بينهما.

من جهة اخرى، فقد ساهم التطور السريع في علم الارض سواء في مجال المعرفة النظرية بالارض او تطور اجهزة القياس وتقنيات التحسس النائي في توثيق العلاقة والثقة بين الجيولوجيا والهندسة المدنية فاصبحت الجيولوجيا الهندسية من الفروع المهمة التي تدرس في مختلف الجامعات كما ساهم هذا التعاون في ظهور علوم اخرى منها:

1. علم الجيو تكتيك Geotechnics

ويهتم باستخدام الاساليب والمبادئ الهندسية في دراسة التربة والصخور من اجل تصميم المنشآت الهندسية وحل المشاكل الهندسية المرتبطة باقامتها من خلال التحري الموقعي Site investigation والفحوصات المختبرية Laboratory tests والعينات مأخوذة من الموقع، ويعتبر هذه العلم الحقل الرئيسي لتطبيق مبادئ الجيولوجيا الهندسية وترتبط به علوم مثل ميكانيك التربة وفروع جيولوجية اخرى مثل الجيوفيزياء والهيدروولوجيا.

2. علم ميكانيك التربة Soil Mechanics

ويهتم بدراسة الخواص الفيزيائية والهندسية للتربة وفهم سلوكها الهندسي Engineering behaviour في مواقع اقامة المنشآت الهندسية المختلفة.

3. الجيوفيزياء الهندسية Engineering Geophysics

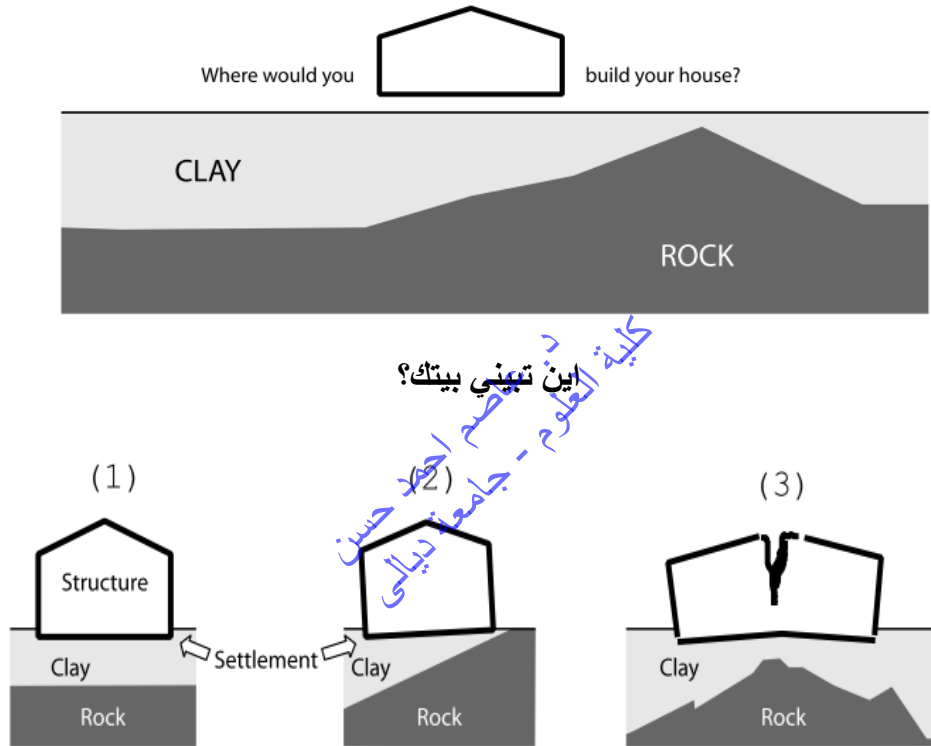
وهو علم يعنى باستخدام الطرق الجيوفيزية كالطرق الزلزالية Seismic Methods والطرق الكهربائية Electrical Methods في التحري المسبق للمواقع للتعرف على نوعية الطبقات والتربة وامتداداتها كتحديد الطبقات الحاملة للمياه الجوفية ومستوى المياه الجوفية وتحديد الخزانات النفطية ومنلجم التعدين وتحديد خصائصها وامتداداتها.

ان تطبيق مبادئ الجيولوجيا الهندسية سيعود بمنافع كبيرة لايمكن للمهندس المدني الاستغناء عنها للأسباب التالية:

1. يقيم المهندس المدني كل منشأته على او تحت السطح لذا لابد ان يكون ملما بالبيئة والتراكيب الجيولوجية تجنباً للمشاكل الهندسية المختلفة.
2. يحتاج المهندس المدني الى معلومات اساسية للتعرف على اماكن وخواص مواد الارض التي يستخدمها في المنشآت الهندسية ومجالات الاستفادة منها.

3. المعرفة الجيولوجية المسبقة بالمنطقة تساعد المهندس المدني في تخطيط وتنفيذ عمليات الحفر بطرق اقل كلفة واكثر دقة وامانا.
4. معرفة المهندس المدني بالمياة الجوفية واعماقها ضروري جدا لاقامة الاسس الهندسية وفي مجال الري والبزل والسيطرة على الانزلاقات الارضية.
5. توفر الخبرة الجيولوجية للمهندس المدني القدرة على فهم التقارير الجيولوجية والخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والصور الجوية والفضائية وبالتالي تعينه على التخطيط السليم للمشاريع الهندسية.
6. تزيد المعرفة الجيولوجية من قدرة المهندس المدني على تشخيص وفهم والتنبؤ بالمشاكل والمخاطر المستقبلية التي قد تحدث ومعرفة متى يتوجب استشارة الجيولوجي المختص في حلها.

توضح الامثلة التالية أثر البيئة الجيولوجية في المنشأ الهندسي المقام عليها:



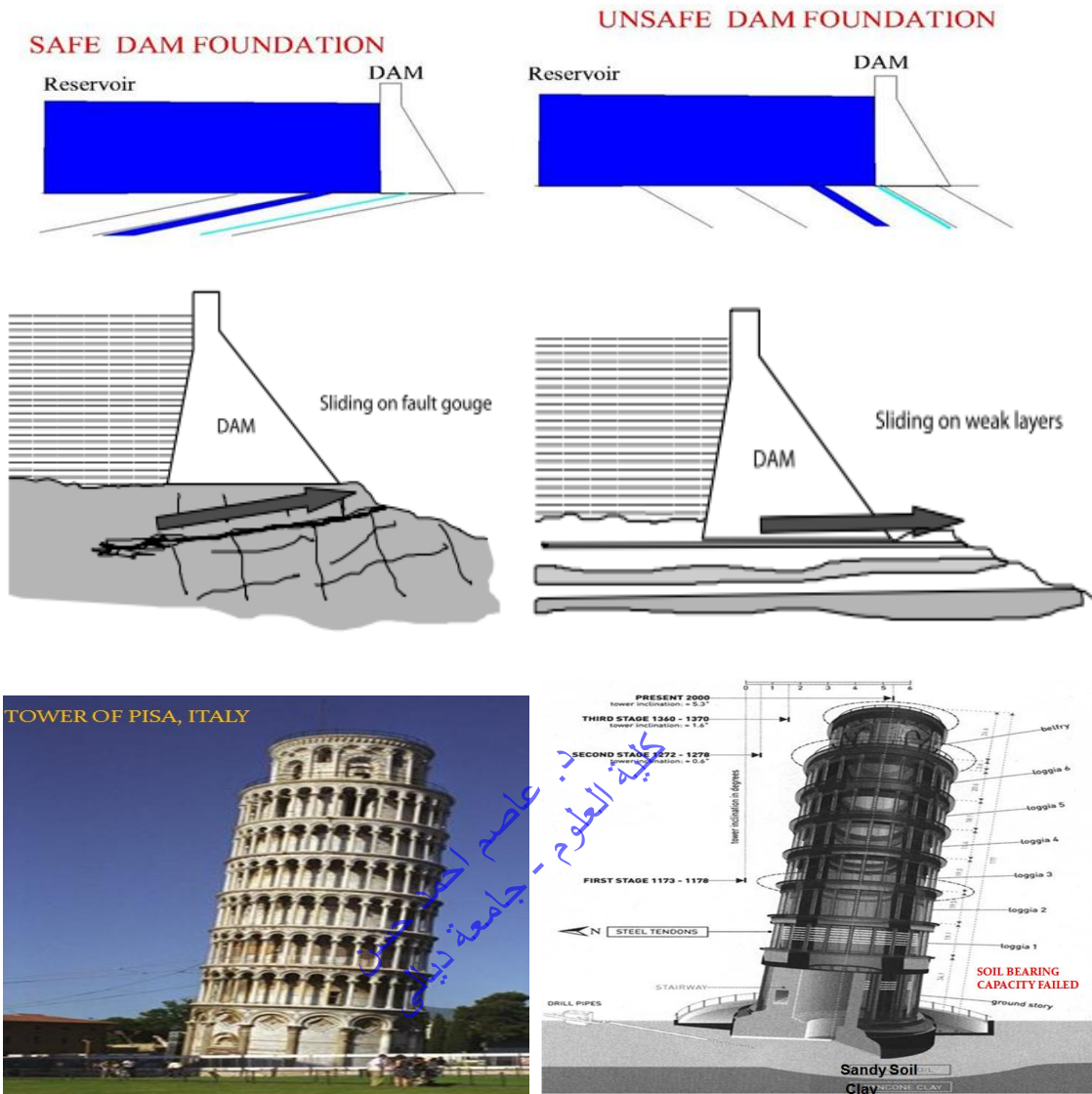
اثر البيئة الجيولوجية على سلامة المنشآت الهندسية

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 لا يؤثر 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 لا تتعرض 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 الارض في استقرارية وسلامة التراكيب الهندسية.

اختيار الموقع الملائم- اثر العوامل الجيولوجية (امثلة):



Towr of Piza, Italy



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



انهيار طريق على منحدر نتيجة لتعرية الصخور تحته ولعدم وجود حماية له



اثر فيضانات المياه



انزلاق التربة بسبب المياه مما يعرض المنازل للانهيار (غياب التوعية المطلوبة)



تهدم الطرق نتيجة لتقلص التربة

الخواص الفيزيائية والهندسية للصخور Physical and engineering properties of the rocks

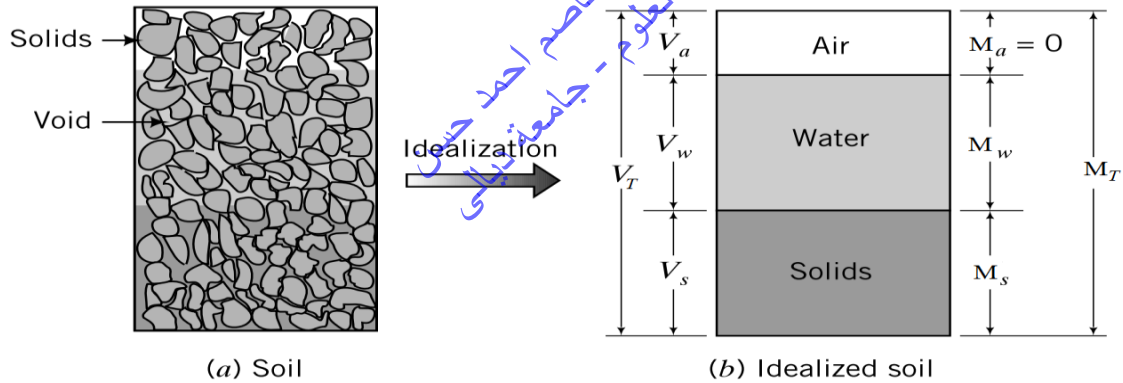
يعتمد سلوك التربة والصخور في ظروف معينة علي خصائصها الفيزيائية (الطبيعية) والهندسية (الميكانيكية) للمواد (المعادن) المكونه لها، ولهذا يمكن تصنيف هذه الخصائص او الصفات الى:

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 حتمي وتحدد هذه المكونات وعلاقتها ببعضها خصائص الصخور والتربة بشكل كبير

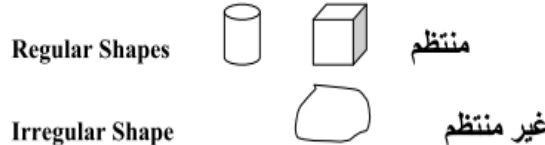


Rocks (Soil) Phases

حساب الحجم:

تعتمد العلاقات النسبية بين مكونات التربة او الصخور على قياس الحجم 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 $(1.5-3.0 g/cm^3)$.

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/م³ (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 .

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

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

$$\text{Volume } V = 0.855 \times 0.79 \times 0.438$$

$$= 0.2958 \text{ m}^3$$

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

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

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 W_1 / (وزن العينة الجافة W_1 - وزن العينة وهي مغمورة في الماء W_2)

$$G = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

4. المسامية (Porosity)

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

$$n = \frac{V_V}{V_T} \times 100$$

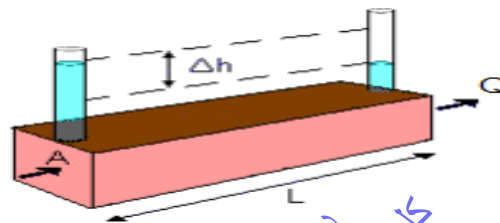
مسامية الصخور قد تكون اولية او ثانوية وتعتمد على عوامل منها:

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

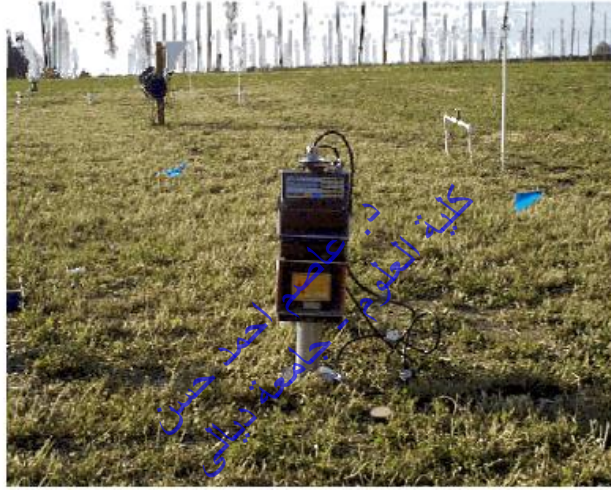
هو النسبة المئوية بين حجم الماء V_w في الصخرة الى حجمها الكلي V_T

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

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:

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

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



Neutron probe

8. درجة التشبع Degree of saturation

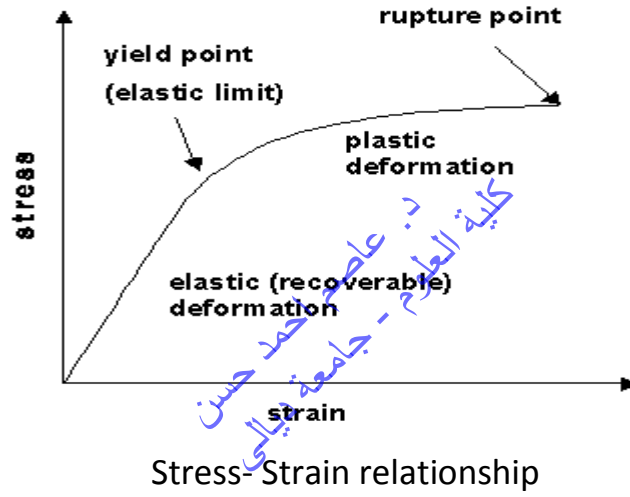
وهي النسبة بين حجم الماء في الصخرة V_w نسبة الى حجم الفراغات فيها V_v وتتراوح قيمته (0-1).

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

Engineering Properties of Rocks الخواص الهندسية للصخور

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 كمعاد 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 تتحملة فتتعرض للانهيال او الكسر Rupture.

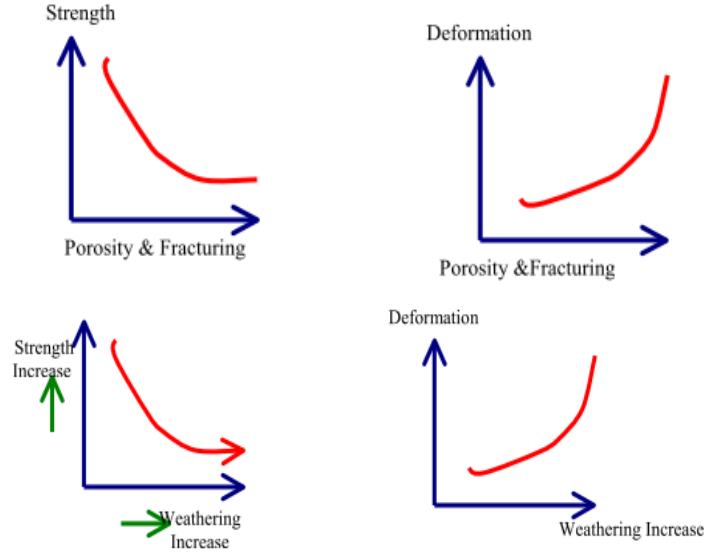


Stress-Strain relationship

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 والنفذية 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.

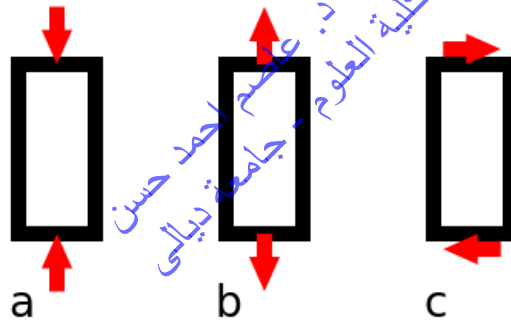


وتصنف مقاومة الصخور تبعاً إلى طبيعة القوى المسلطة عليها إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

(a) مقاومة الانضغاط Compressive Strength

(b) مقاومة الشد Tension Strength

(c) مقاومة القص Shearing Strength



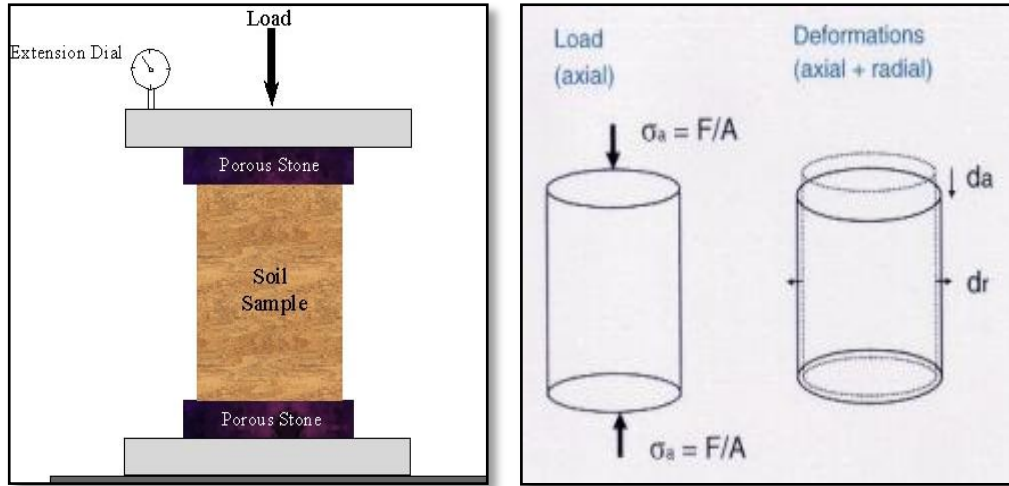
1. مقاومة الانضغاط Compressive Strength هي مقاومة الصخرة للقوى التضاغية التي تحاول تقليص أو نقصان حجمها وتعرض الصخور في الطبيعة إلى قوى تضاغية تسبب التواءها وتكسرها وضعف مقاومتها للأحمال الهندسية وهي على نوعين:

(أ) مقاومة الانضغاط الأحادي المحور Uniaxial Compressive Strength

يمكن تتعرض الصخرة إلى قوى أو أحمال باتجاه محور واحد فقط دون وجود أحمال أخرى عمودية على محور التحميل وتعرف مقاومة الصخرة لهذه القوى بمقاومة الانضغاط الأحادي المحور وتقاس مقاومة الانضغاط بالقوة المسلطة على الصخرة حتى تعرضها للتكسر أو الفشل (Failure)، ويعبر عنها بقوة الانضغاط لوحدة المساحة:

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

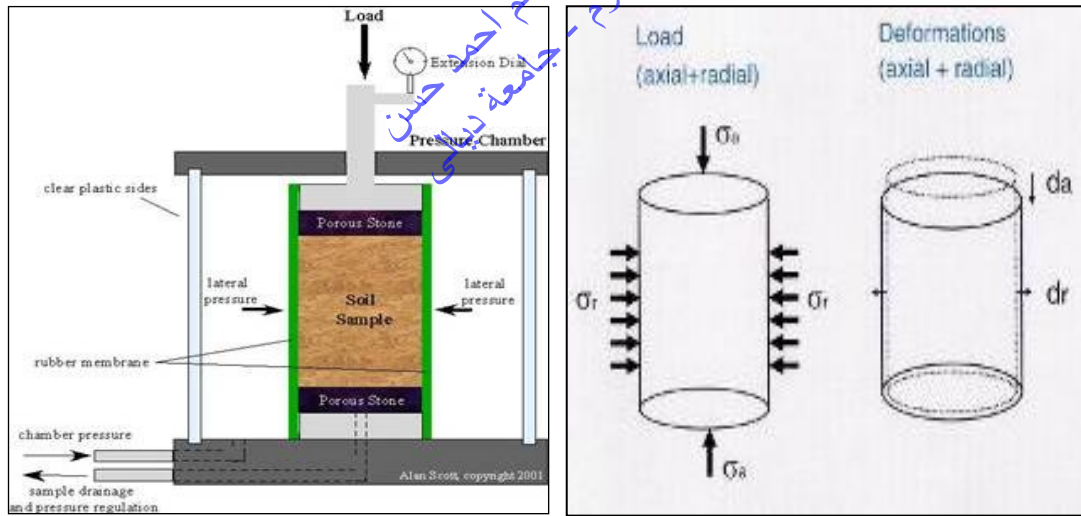
σ : Stress, F: Force, A: Area,



Uniaxial Compressive Strength

Triaxial Compressive Strength (المحصور) (confined)

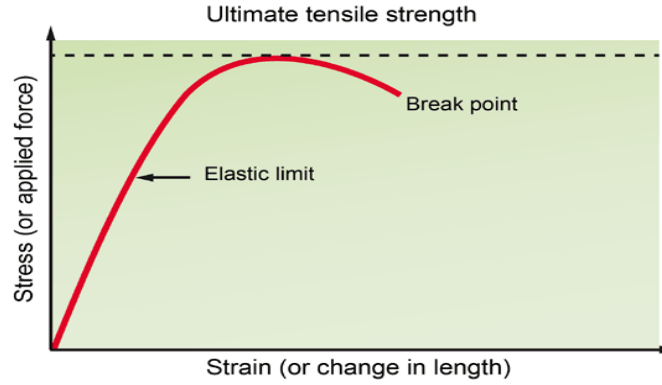
تتعرض الصخور عادة في الطبيعة الى قوى باتجاه اكثر من محور واحد، وغالبا ماتتعرض الى اجهادات من ثلاثة اتجاهات متعامدة وعندما تتعرض الى ضغوط من جميع الاتجاهات فيعرف بالضغط الهيدروستاتيكي او الليثوستاتيكي.



Triaxial compressive strength

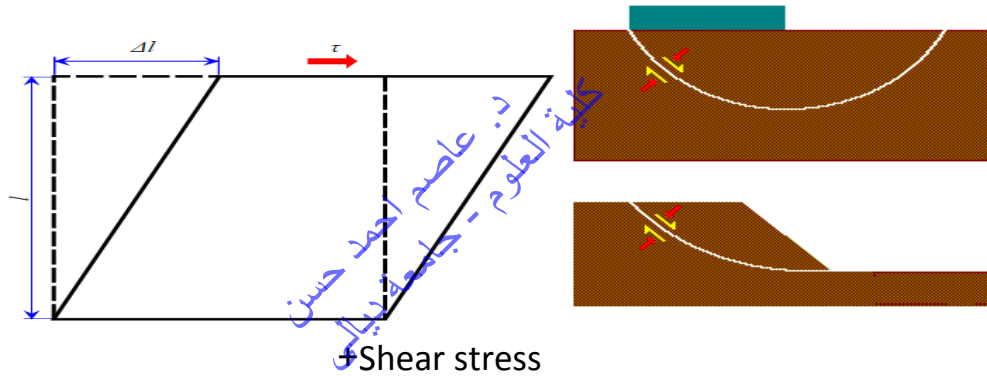
2. مقاومة الشد Tensile Strength

وتعرف على انها اكبر جهد لقوى شد يمكن ان تتحملة الصخور وغالبا ما تتعرض الصخور الى قوى شديدة تؤدي تشقق وتصدع الصخور والتي تمثل مناطق ضعف في التراكيب الهندسية كالسدود والانفاق والمناجم 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 بامتداد 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 التشوهات وزيادة المحتوى المائي والنفاذية في ضعف مقاومة القصية.



التشوهات Deformations:

هو اي تغيير في شكل او حجم الصخور نتيجة لتعرضها لقوى التي قد تكون تضاغية compressive او شدية tensile او قصية shear.

انواع التشوهات Deformation types

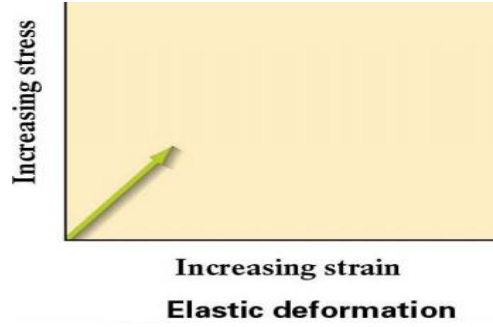
اعتمادا على نوع من الصخور، وحجمها وشكلها وخصائصها المختلفة والقوى التي تتعرض لها هناك أنواع مختلفة من التشوهات:

1. تشوه مرن Elastic Deformation

وهو تشوه مؤقت 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

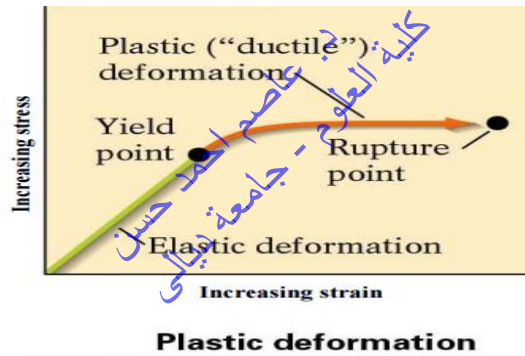


2. تشوه لدن (Plastic (Ductile) Deformation

هو تشوه دائم في شكل أو حجم الصخرة لا تعود فيه الصخرة إلى حالتها الأصلية بعد زوال القوى المؤثرة نتيجة لتحرك الذرات من مواقعها الأصلية دون أن تفقد الصخرة تماسكها Cohesion.

3. تشوه هش (Brittle Deformation

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

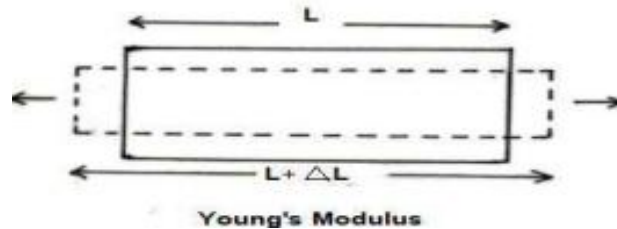


معاملات المرونة:

1. المرونة الطولية (Longitudinal Elasticity

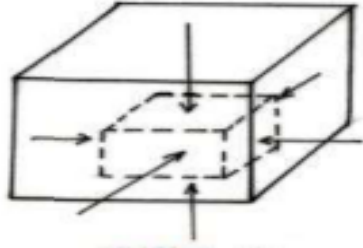
وتمثل مقاومة الصخور للقوى المؤثرة باتجاه محور واحد وتحاول تغيير طولها ويعبر عنها بمعامل يونك Young's Modulus.

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



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

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

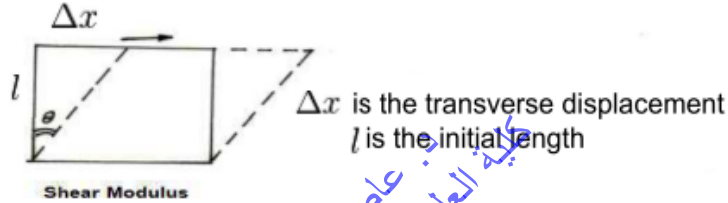


Bulk Modulus

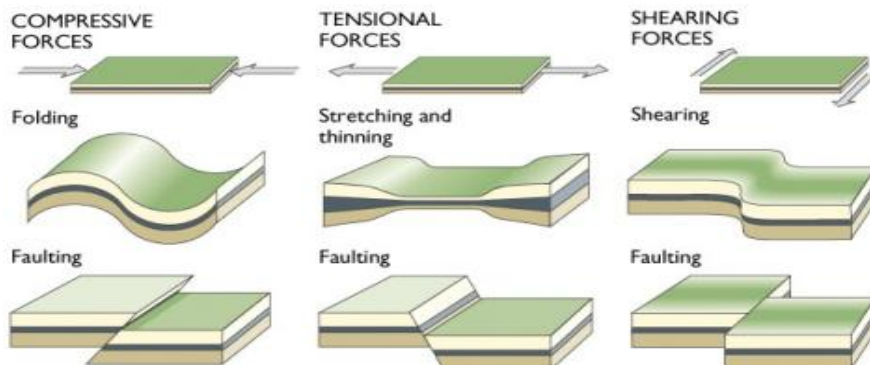
$$K = \frac{\text{Volume Stress}}{\text{Volume Strain}} = \frac{F/A}{\Delta v/v}$$

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.

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



تحدد عوامل مثل نوعية الصخور وخصائصها، درجة الحرارة، ومقدار ونوع الجهد المسلط شكل وطبيعة التشوهات في الصخور في الحقل مما يؤدي الى نشوء تراكيب مختلفة كالطيّات (تشوهات لدنة Ductile) والصدوع (تشوهات هشة Brittle) والتي يمكن ان تنتج عن قوى تضاغية 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 بالجهود 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.

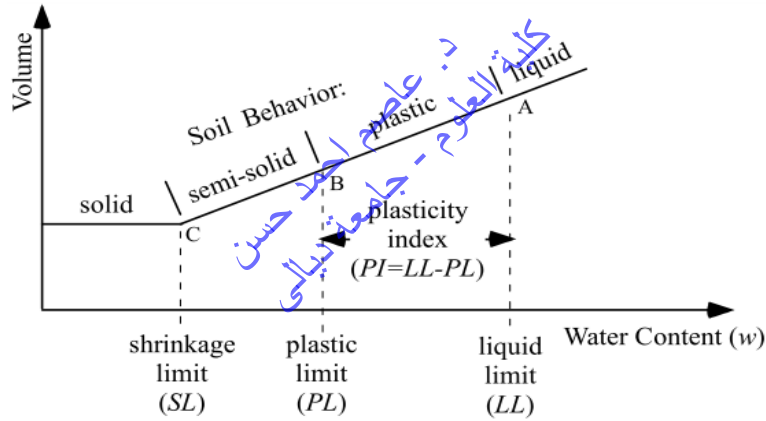


حالة التربة الفيزيائية وقوامها Physical state and Consistency of soil

ان دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة مهم في التعرف على سلوكها الهندسي في المواقع التي تقام عليها المنشآت الهندسية وتقييم المخاطر المتوقعة ويساعد ذلك في تصنيف التربة للاغراض الهندسية وتجنب المشاكل في الاسس الضحلة او العميقة في المشاريع الهندسية كأقامة الطرق والانفاق والسدود والمشاريع العمرانية. ان حالة التربة الفيزيائية ذات اهمية خاصة في الترب الطينية الناعمة التي يمثل التغير في محتواها المائي (او الرطوبة) مع تغير الحجم نتيجة للانكماش والانتفاخ ذو اهمية خاصة نظرا لتغير مقاومتها وتحملها للاحمال المسلطة وبالتالي تصنيفها للاغراض الهندسية. يمكن تمييز اربع حالات للتربة مع تغيير المحتوى المائي فيها وهي:

1. الحالة الصلبة Solid state
2. الحالة شبه الصلبة Semi-solid
3. حالة اللدونة Plastic state
4. حالة السيولة Liquid State

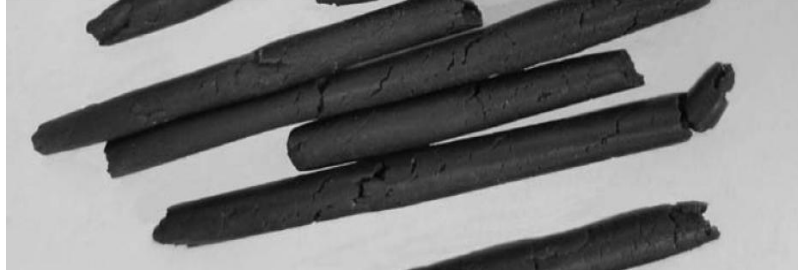
فاذا فرضنا ان تربة ذات محتوى مائي عالي تكون فيه بحالة السيولة Liquid State ثم تعرضت للتجفيف (نقصان المحتوى المائي) بشكل مستمر فيمكن رسم المحتوى المائي مقابل الحجم كما في الشكل ادناه:



Soil states as a function of soil water content and volume

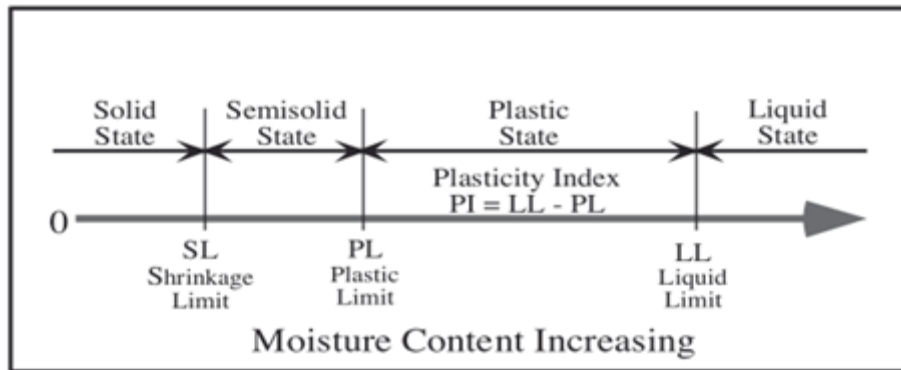
تتصرف التربة في حالة السيولة وكأنها مادة سائلة وعندما تتعرض التربة للتجفيف يقل المحتوى المائي وكذلك الحجم، وعند النقطة A فان حالة التربة وسلوكها الهندسي تتغير من حالة السيولة الى حالة اللدونة Plastic State ويعرف المحتوى المائي عند نقطة A بالحد المائي (Liquid Limit (LL) الذي يمثل اقل محتوى مائي للتربة تسيل عنده تحت تأثير وزنها ويمثل المحتوى المائي للتربة الذي تتغير عنده حالتها من السيولة الى اللدونة. مع نقصان المحتوى المائي في التربة تتواجد في نطاق بحيث يمكن تشكيلها دون ان تتعرض للتكسر (تتصرف بشكل مادة لدنة) وتعرف حالة التربة عندها بحالة اللدونة Plastic State- المادة تتعرض للتشوه deformation بشكل مستمر دون ان تتعرض للكسر Rupture.

ولكن مع نقصان المحتوى المائي لترربة الى ما بعد هذا النطاق فان التربة تصبح بحالة شبه صلبة **semisolid** وعندها فان التربة لايمكن تشكيلها دون تعرضها للتكسرات ويعرف المحتوى المائي للتربة التي تتغير عنده حالة التربة من حالة اللدونة الى حالة شبه صلبة (نقطة B) بحد اللدونة **Plastic Limit (PL)** .



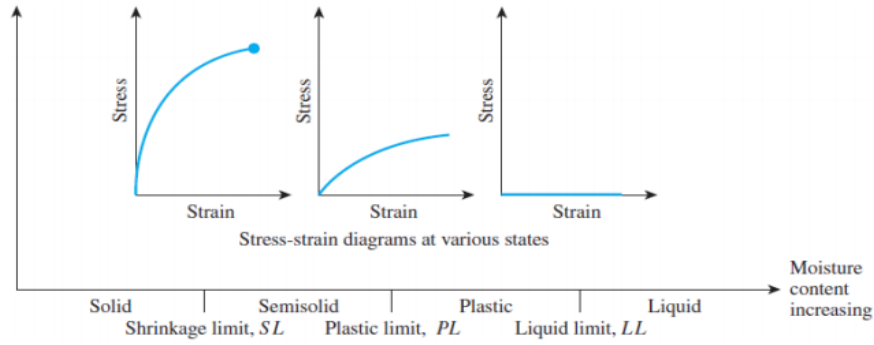
Soil at plastic limit

ومع استمرار نقصان المحتوى المائي فان التربة تتحول الى حالة صلبة **Solid State** وعندها لا يوجد تغير في الحجم نظرا لازالة معظم الماء من التربة، ويعرف المحتوى المائي في النقطة C الذي تتغير عنده حالة التربة من شبه صلبة الى صلبة بحد التقلص او الانكماش **Shrinkage Limit (SL)** وهذا الحد من المحتوى المائي مهم خاصة في الترب الطينية لكونها تتميز بقابليتها على الانكماش عند فقدانها للمحتوى المائي كما تتميز ايضا بالانتفاخ عند امتصاصها للمياه وتؤدي هذه الصفات الى تغير في الحجم الذي يسبب مشاكل هندسية لمعظم المنشآت الهندسية. تعرف الحدود اعلاه بحدود اتربرغ **Atterberg Limits** نسبة للعالم السويدي **Atterberg**, 1911 التي تصف قوام التربة **Soil Consistency** مع تغير المحتوى المائي فيها وهي تفيد في دراسة خصائص وتصنيف ومقارنة انواع التربة المختلفة وبالتالي سلوكها الهندسي ويمكن معرفة حالات التربة وهذه الحدود مختبريا.



Atterberg Limits

نتيجة لتغير حالة التربة مع تغير المحتوى المائي يتغير السلوك الهندسي لها من حيث قوتها او مقاومتها **Strength** للجهد المسلط في كل حالة فعند حالة السيولة تكون التربة اقل قوة ويمكن ان تتعرض الى تشوهات كبيرة وتتصرف كأنها سائل لزج بينما تكون التربة في الحالة شبه الصلبة والصلبة اكبر قوة لكنها هشة وعرضة للتشققات اما التربة في حالة اللدونة فتمتاز بقوة متوسطة وتتشوه بشكل لدن كما مبين في الشكل التالي:



Soil behaviour at different moisture content

ادلة لدونة، سيولة وقوام التربة:

Plasticity, Liquidity and Consistency Indices

يعرف نطاق المحتوى المائي للتربة الذي تتصرف (او تتشوه) عنده بشكل لدن بدليل اللدونة Plasticity Index (PI) الذي يمثل الفارق بين حد السيولة وحد اللدونة:

$$PI = LL - PL$$

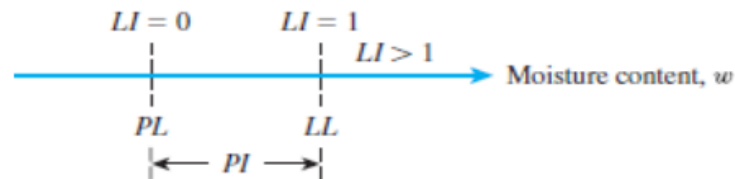
وبصورة عامة يمكن تصنيف التربة حسب دليل اللدونة PI حسب الجدول التالي:

PI	Description
0	Nonplastic
1-5	Slightly plastic
5-10	Low plasticity
10-20	Medium plasticity
20-40	High plasticity
>40	Very high plasticity

اما دليل السيولة Liquidity Index (LI) فهو مؤشر لقرب المحتوى المائي للتربة من حد السيولة ولهذا يمثل كمقياس لوصف لقوة التربة او مقاومتها اعتمادا على معاملات التبرغ والمحتوى المائي و يعبر عنه بالصيغة التالية:

$$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

فالتربة عندما تكون عند حد السيولة LL سيكون دليل السيولة يساوي 1 (او 100%) وتتصرف كأنها مادة سائلة، بينما عندما تكون التربة عند حد اللدونة PL فان دليل السيولة يساوي 0 تقريبا كما مبين في الشكل:



Liquidity Index and Moisture Content

ومع تغير LI تتغير قوة التربة أيضا ويمكن استخدام الجدول أدناه في وصف قوة اعتمادا على قيم معامل السيولة LI.

Values of LI	Description of soil strength
LI < 0	Semisolid state—high strength, brittle, (sudden) fracture is expected
0 < LI < 1	Plastic state—intermediate strength, soil deforms like a plastic material
LI > 1	Liquid state—low strength, soil deforms like a viscous fluid

Description of the Strength of Fine-Grained Soils Based on Liquidity Index LI

وبنفس الطريقة يستخدم دليل قوام التربة (CI) Soil Consistency Index (CI) لكي يدل على حالة أو قوام التربة وقرب محتواها المائي من حد اللدونة PL وبالتالي مدى صلابتها ويعبر عنه باستخدام العلاقة التالية:

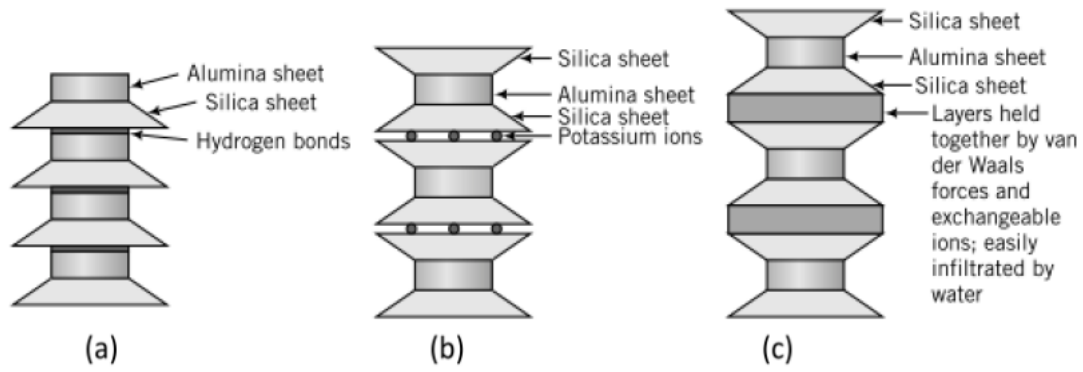
$$CI = \frac{LL - w}{PI}$$

فالتربة عند حد السيولة LL لها دليل قوام يساوي 0 وتمتاز بكونها طرية Soft بينما التربة عند حد اللدونة PL لها دليل قوام يساوي 1 وتكون قوية Firm بينما تكون التربة شبه صلبة أو صلبة عندما يزداد دليل القوام عن 1 وتكون عندها التربة قوية جدا.

يبين الجدول التالي قيم Atterberg Limits للتربة المختلفة وهذه القيم تعتمد على المعادن المكونة وتركيبها الداخلي المبين في الشكل، فالمعادن الطينية تتميز بشكل عام بقابليتها على نفوذ وامتصاص الماء، وتختلف هذه الخاصية باختلاف المعادن الطينية تبعا لخواصها الداخلية كما في الشكل التالي، وعلى سبيل المثال فإن معدن Montmorillonite يمتاز بأواصر ضعيفة في تركيبه الداخلي تسمح بنفوذ الماء في فراغاته على العكس من Kaolinite ولهذا فإن Atterberg Limits لمعدن Montmorillonite أعلى من بقية المعادن الطينية.

Soil type	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Sand		Nonplastic	
Silt	30–40	20–25	10–15
Clay	40–150	25–50	15–100
Minerals			
Kaolinite	50–60	30–40	10–25
Illite	95–120	50–60	50–70
Montmorillonite	290–710	50–100	200–660

Typical Atterberg Limits for Soils



Clay minerals structure (a) Kaolinite (b) Illite, and (c) Montmorillonite

فعالية او نشاط التربة :Soil Activity

لقد بينت دراسة Skempton, 1953 بان معامل اللدونة PI يتناسب طرديا نسبة الطين Clay Fraction فاوجد تعبير هو فعالية او نشاط التربة (A) Soil Activity لوصف اهمية نسبة الطين في معامل اللدونة حسب المعادلة التالية:

$$A = \frac{PI}{\text{Clay fraction (\%)}}$$

التربة ذات الفعالية العالية تمتاز بتغير كبير في الحجم عند امتصاصها او فقدانها للماء وانضغاطية عالية كما تمتاز بفعالية كيميائية كبيرة والعكس صحيح ويقصد بكمية الطين كمية الحبيبات اقل من $2 \mu\text{m}$ وهي مهمة لتحديد الترب التي لها القابلية على الانتفاخ والانكماش التي تؤثر في اقامة المنشآت الهندسية. يبين الجدول التالي وصف للتربة اعتمادا على فعاليتها :Activity (A)

Description	Activity, A
Inactive	<0.75
Normal	0.75–1.25
Active	1.25–2
Minerals	
Kaolinite	0.3–0.5
Illite	0.5–1.3
Na-montmorillonite	4–7

Activity (A) of Clay-Rich Soils

Question:

A fine-grained soil has a liquid limit of 300% and a plastic limit of 55%. The natural water content of the soil in the field is 80% and the clay fraction is 60%.

- Calculate: the plasticity index, the liquidity index, and the activity A
- What is the soil state in the field?
- What is the predominant mineral in this soil?

a) $PI = LL - PL = 300 - 55 = 245\%$

$$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

$$= \frac{80 - 55}{245}$$

$$= 0.1$$

$$A = \frac{PI}{\text{Clay fraction (\%)}}$$

$$= \frac{245}{60}$$

$$= 4.1$$

b) Based on Liquidity Index (LI) Table, the soil with $LI = 0.1$ is at the plastic state.

c) Based on Activity Table, the soil is very active and the predominant mineral is Montmorillonite.

Question: Two Clays have the following characteristics. Calculate their Activity Values. Compare their engineering behaviour

	Clay A	Clay B
LL	60	50
PL	25	30
Clay fraction %	25	40

$$A = \frac{PI}{\text{Clay fraction (\%)}}$$

$A (\text{Clay A}) = (60 - 25) / 25 = 35 / 25 = 1.4$ (active)

$A2 (\text{Clay B}) = (50 - 30) / 40 = 0.5$ (Inactive)

Question: Two Clays have the following characteristics. Which of the soil is more plastic? Which of them is softer in consistency?

	Clay A	Clay B
LL	44	55
PL	20	35
W	25	50

$$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

$LI (\text{Clay A}) = (25 - 20) / (44 - 20) = 0.23$ (More plastic)

$LI (\text{Clay B}) = (50 - 35) / (55 - 35) = 0.75$ (Softer)

استكشاف الموقع Site Investigation

ان عملية استكشاف الموقع من المهام الاساسية التي يتوجب القيام بها في معظم المشاريع الهندسية قبل الشروع بعملية الانشاء وتتضمن هذه العملية مجموعة الاعمال المكتبية Office works الخاصة بجمع المعلومات المختلفة والدراسات الحقلية Field studies والفحوصات المختبرية Laboratory tests المتعلقة بالموقع المقترح للمشاريع الهندسية.

اهداف استكشاف الموقع Site investigation objectives:

تهدف عملية استكشاف المواقع الى مايلي:

1. تقدير صلاحية او ملائمة الموقع لاقامة المشروع المقترح.
2. تمكين المهندس المدني من وضع التصاميم الملائمة ذات الجدوى الاقتصادية الجيدة.
3. تساعد في فهم وتقييم الصعوبات والمشاكل الهندسية التي يحتمل ان تحصل خلال او بعد عملية الانشاء والناجمة عن الظروف الجيولوجية للموقع المقترح.
4. تساعد في التحقق من سلامة المنشآت الهندسية المقامة ودراسة الاسباب التي ادت او قد تؤدي الى حصول المشاكل الهندسية المختلفة وتقييم المخاطر ووضع الحلول المناسبة لتقليل الخسائر البشرية والاضرار المادية.

مراحل استكشاف الموقع Stages of Site Investigation:

تتضمن عملية استكشاف الموقع ثلاثة مراحل اساسية:

1. استطلاع الموقع التمهيدي Site Reconnaissance

وتمثل دراسة استطلاعية اولية للموقع قد تكون كافية لبعض المشاريع الصغيرة كالمنشآت والابنية الصغيرة او تشكل دراسة تمهيدية للمرحلة الثانية من استكشاف الموقع في المشاريع الضخمة كالسدود والانفاق، وتكون هذه المرحلة اقل كلفة من المراحل التالية وتشمل مايلي:

- دراسة الخرائط والابحاث والتقارير المتوفرة عن الموقع المقترح.
- القيام بجولة استطلاعية في الموقع.
- اعداد خرائط طبوغرافية وجيولوجية اولية.
- جمع العينات وحفر الابار التجريبية الاولى.
- الاستعانة بالطرق الجيوفيزيائية لفهم الطبيعة الجيولوجية تحت سطحية خاصة عندما تكون هناك حاجة لمرحلة ثانية في عمليات الاستكشاف.

2. استكشاف الموقع التفصيلي Detailed Site Investigation

وتهدف هذه المرحلة للفهم التفصيلي الدقيق للتركيب الجيولوجية وطبيعة الصخور والتربة وخصائصها المختلفة وتتضمن هذه المرحلة:

- تهيئة الخرائط الهندسية Engineering Maps المفصلة وتمثل خرائط جيولوجية بتعابير هندسية يتم اعدادها حسب الغرض من اقامة المشروع.
- دراسة نتائج الفحوصات الحقلية والمختبرية التي يتم القيام بها لتوفير تقارير مفصلة لتقييم الموقع.
- حفر ابار استكشافية بأعماق واعداد ومسافات يحددها طبيعة المشروع للتأكد من المعلومات المتجمعة وتوفير معلومات اضافية تساعد في فهم الخصائص الهندسية للصخور والتربة.

3. استكشاف الاسس Foundation Investigation

ان الهدف الاساسي من هذه العملية هو التأكد من نتائج المرحلتين السابقتين وقد يطرأ بعض التغييرات على التصميم استنادا الى ما يتم استكشافه في هذه المرحلة، ويتم في هذه المرحلة:

- التأكد من جيولوجية الموقع خلال فترة الحفر لغرض انشاء الاسس.
- جمع نماذج اضافية للتربة والصخور خلال عملية الحفر لدراسة خصائصها بشكل مفصل وفحصها النماذج في المختبر.
- دراسة حالة المياه الجوفية خلال الحفر من خلال تحديد عمقها ونوعيتها واثرها على الاسس.

وسائل استكشاف الموقع:

1. الخرائط الطبوغرافية

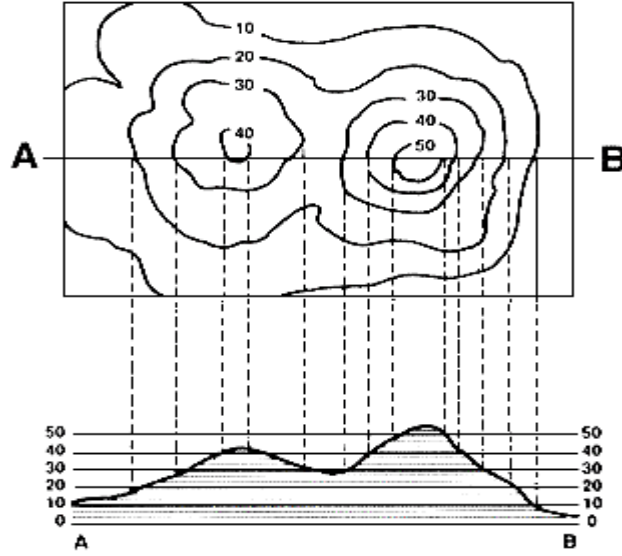
وهي خرائط تمثل الرسم الافقي لاجزاء مختلفة الارتفاعات من سطح الارض وفقا لمقياس رسم معين وتبين الشكل العام لسطح الارض والظواهر الطبيعية ويمكن ان تبين مواقع الطرق والمدن والحدود.

اهمية الخرائط الطبوغرافية في الهندسة المدنية:

1. تسهيل مهمة الجيولوجي او المهندس في فهم الواقع الطبوغرافي في الحقل.
2. تسهيل عملية اختيار الموقع المناسب لاقامة المشاريع الهندسية كالسدود والطرق والقنوات المائية.. الخ.
3. تساعد على حساب كمية الاعمال الارضية اللازمة في عمليات القطع والرصف وتجنب الاماكن التي تكون فيها كلفة هذه الاعمال كبيرة.
4. تساعد في رسم القطاعات الطبوغرافية Topographic profiles للمنطقة وبيان تضاريسها الارضية.
5. تساعد في تقدير كمية المياه في الخزانات او البحيرات وحركة المياه.

اجزاء الخرائط الطبوغرافية:

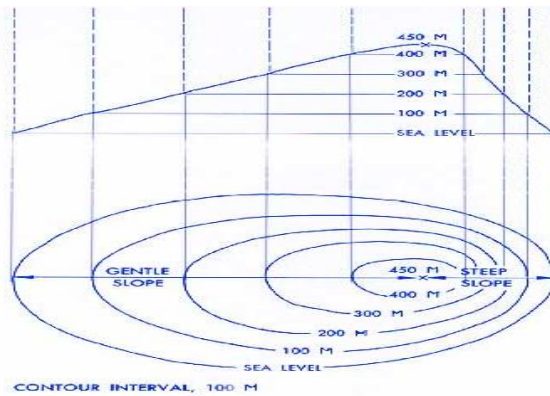
1. الخط الكنتوري Contour Line وهو الخط الذي يصل بين النقاط المتساوية في الارتفاع عن مستوى سطح البحر.
2. الفاصلة الكنتورية (او المسافة الرأسية) Contour Interval وهو الفرق في الارتفاع بين خطين متتاليين من الخطوط الكنتورية.
3. المقطع الطبوغرافي Topographic profile وهو خط بياني ناتج عن مستوى عمودي بين نقطتين في الخارطة.
4. التضاريس (علو المنطقة) Relief وهو الفرق بين اعلى واخفض نقطتين في المنطقة التي تمثلها الخارطة.



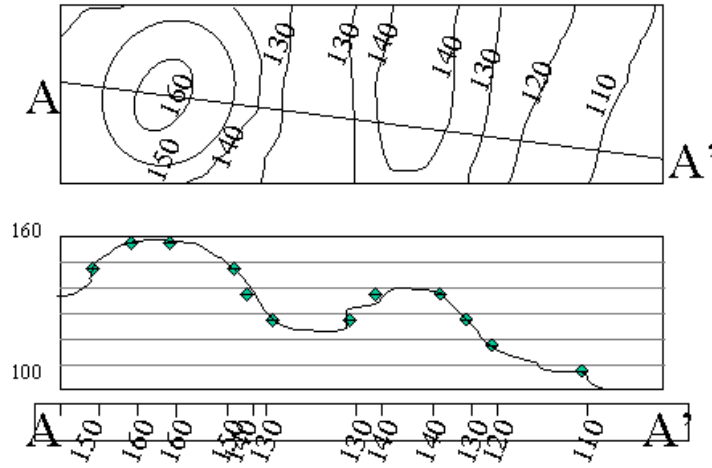
خارطة طبوغرافية مع المقطع الطبوغرافي

الاسس العامة للخرائط الكنتورية:

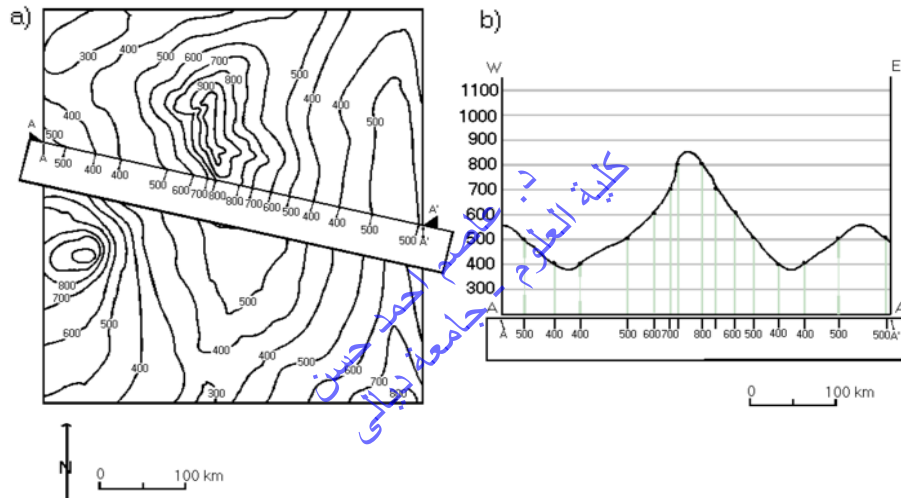
1. جميع النقاط الواقعة على نفس الخط الكنتوري لها نفس الارتفاع.
2. الخطوط الكنتورية لا تتقاطع فيما بينها.
3. الخطوط الكنتورية يجب ان تغلق اذا كانت في وسط الخارطة ماعدا تلك الواقعة في حافاتها.
4. لا يمكن لاي خط كنتوري ان يقع بين خطين اعلى او اقل منه قيمة.
5. تتناسب شدة انحدار سطح الارض مع المسافات بين الخطوط الكنتورية اي ان تقارب الخطوط الكنتورية يدل على شدة الانحدار والعكس صحيح.
6. المسافات المتساوية بين الخطوط الكنتورية تدل على انتظام الارض وميلها بينما يدل التباعد غير المتساوي بين الخطوط الكنتورية على عدم انتظام ميل الارض.
7. المرتفعات كالجبال تتمثل بخطوط كنتورية مغلقة بحيث تكون اعلى قيمة للخطوط في الوسط اما المنخفضات كالبحيرات تتمثل بخطوط كنتورية مغلقة وان اقل قيمة تكون في الوسط.



تتناسب شدة انحدار سطح الارض مع المسافات بين الخطوط الكنتورية



التباعد غير المتساوي بين الخطوط الكنتورية يدل على عدم انتظام ميل الارض



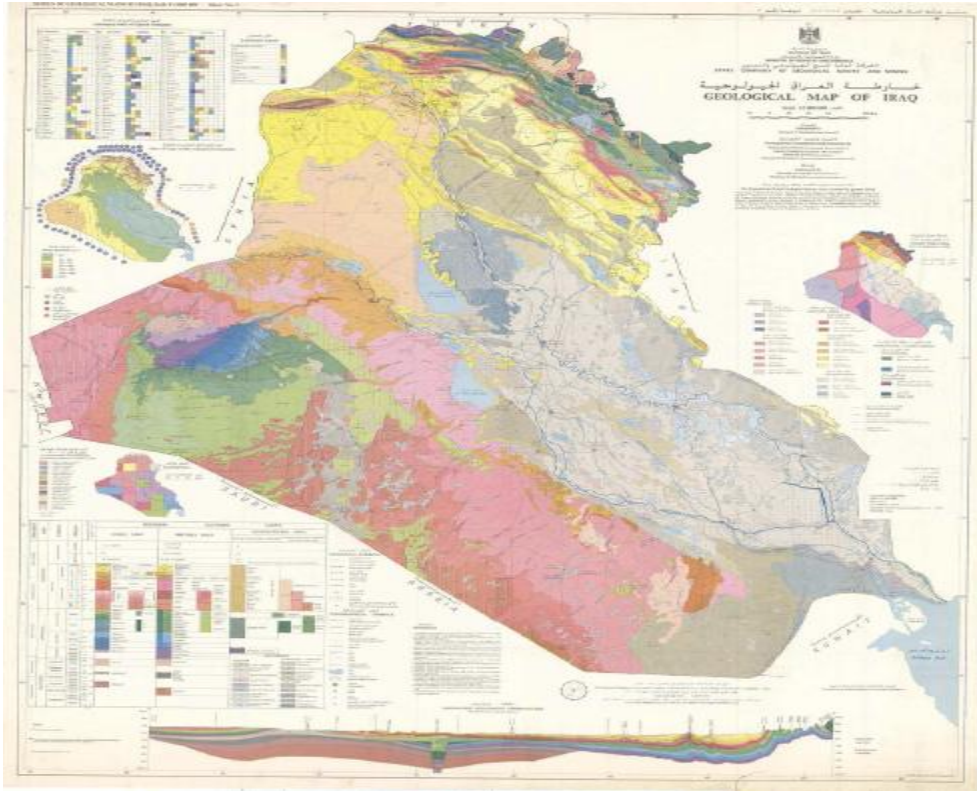
كيفية رسم المقطع الطبوغرافي

2. الخرائط الجيولوجية Geological Maps

وهي خرائط توضح المظاهر الجيولوجية ووحدات الصخور او الطبقات الجيولوجية وانواع المكاشف الصخرية وعلاقتها بالطبقات اضافة الى التراكيب الجيولوجية المختلفة باستخدام رموز والوان مختلفة.

اهمية الخرائط الجيولوجية في المشاريع الهندسية:

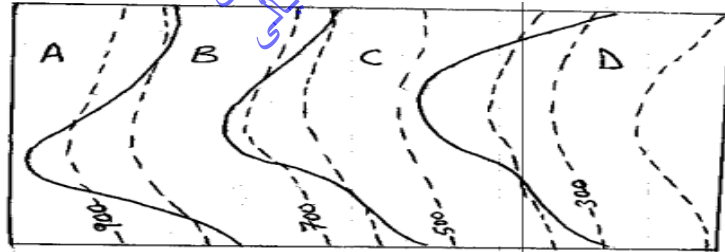
- تعتبر الخرائط الجيولوجية جزءاً مهماً من استكشاف المواقع والقدرة على قراءة هذه الخرائط وتفسيرها من قبل المهندسين المدنيين ضرورية جداً ويمكن تلخيص اهميتها بمايلي:
1. تمثل الخارطة الجيولوجية الوسيلة الافضل للتعبير عن جيولوجيا المنطقة وتراكيبها المختلفة.
2. توفر طريقة جيدة لاختيار او رفض اماكن مقترحة للمشاريع الهندسية قبل البدء في الانشاء.
3. تستخدم في تحديد اماكن تواجد الصخور والترسبات التي تستخدم في اعمال البناء.
4. الاستفادة من هذه الخرائط في تحديد مناسيب المياه الجوفية واماكن تواجدها وحركتها.
5. معرفة نوعية الصخور تحت سطحية ونوعية التراكيب الجيولوجية.
6. تقلل من الوقت والجهد والكلفة لعمليات البحث والتنقيب عن استخدام المعطيات الموجودة في الخرائط الجيولوجية.



خارطة العراق الجيولوجية

خصائص الخرائط الجيولوجية:

1. خطوط الكنتور التي تكون عادة بشكل خطوط متقطعة.
2. الطبقات الجيولوجية تتمثل بخطوط متصلة وتتقاطع الطبقات المائلة مع الخطوط الكنتورية اما في حالة الطبقات الافقية فستكون هذه الطبقات موازية للخطوط الكنتورية.



خارطة جيولوجية تظهر أربعة مناطق مائلة
وهي مناطق مائلة

3. يعبر عن الصخور والتراكيب الجيولوجية برموز معينة.

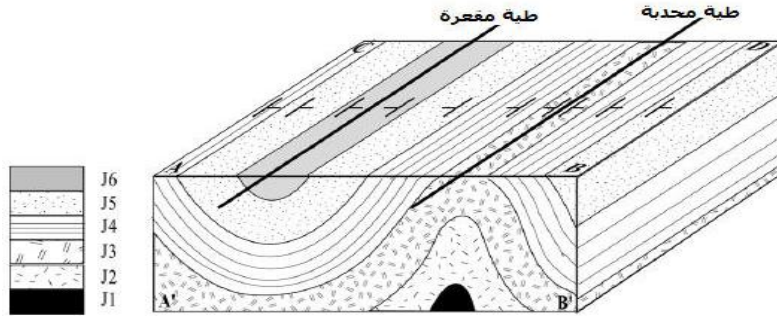


4. مفتاح الخارطة (Legend) توضح الرموز الواردة في الخارطة.

5. اتجاه الشمال (N).

6. مقياس رسم الخارطة Map Scale والذي قد يكون:

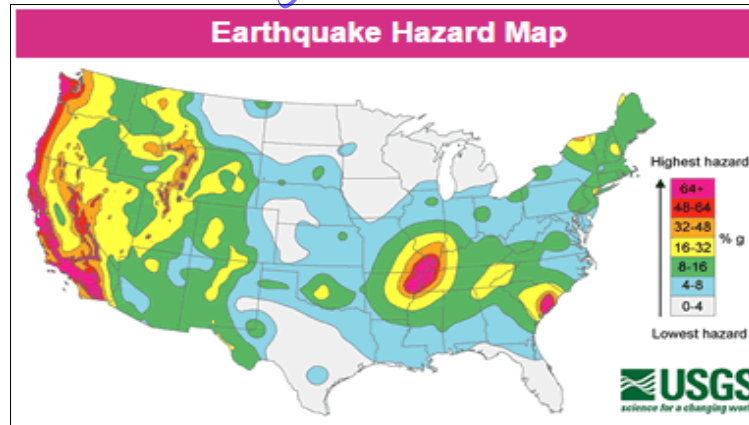
- مقياس نسبي 1:100.000 fractional scale
- مقياس مطلق 1cm=1000m absolute scale
- مقياس خطي bar scale
- 7. خطوط الطول والعرض Longitude and Latitude



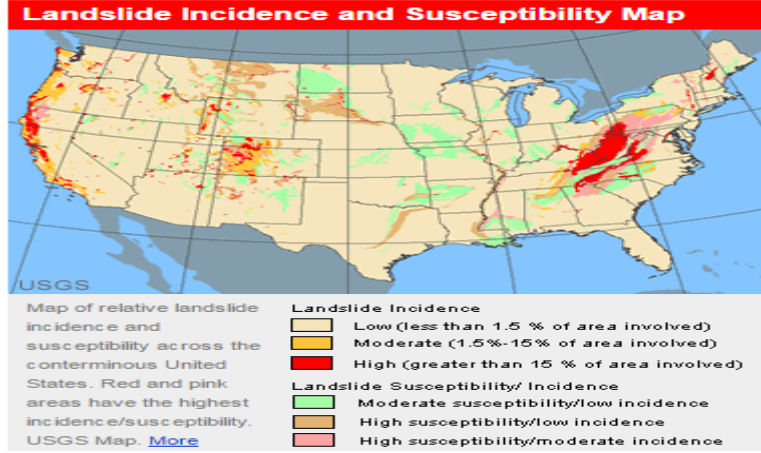
مثال لخارطة تبين طية محدبة واخرى مقعرة

3. الخرائط الجيولوجية الهندسية Engineering Geologic maps

هي نوع من الخرائط الجيولوجية التي توضح عناصر البيئة الجيولوجية الهندسية التي تختلف حسب مقياسها ومحتواها والغرض منها وتحتوي على معلومات جيولوجية ورموز تتعلق بالخواص الهندسية للتربة والصخور وقد تكون ذات هدف محدد او اهداف متعددة وقد تعبر عن المخاطر الجيولوجية لمنطقة معينة وتعرف بخرائط المخاطر الجيولوجية **Geohazard maps** والتي تمثل نوع من الخرائط الجيولوجية الهندسية التي تحدد طبيعة المخاطر ذات الابعاد الجيولوجية في منطقة ما مثل تحديد انطقة الهزات الارضية او البراكين او الانزلاقات الارضية او توزيع الترب حسب قابليتها على الانقفاخ والانكماش وهذا النوع من الخرائط له اهمية خاصة في وضع التصميمات للمشاريع الهندسية.



خارطة المخاطر الزلزالية



خارطة الانزلاقات الارضية

4. تحريات التربة Soil investigations

تعتبر تحريات التربة من اهم الاعمال في مختلف المشاريع الهندسية خاصة الكبيرة منها وتهدف الى دراسة وتقييم التربة والصخور في الموقع المقترح وتفيد في وضع التصاميم المناسبة لكل مشروع وبالتالي تفيد في تجنب المشاكل الهندسية ووضع الحلول لها مستقبلا في حالة حصولها.

5. الطرق الجيوفيزيائية Geophysical methods

تستخدم الطرق الجيوفيزيائية كالتحليل الكهربائي والزلائية والجذبية في المراحل الاولى لتحريات المواقع في مختلف المشاريع الهندسية لما تتميز به هذه الطرق من سرعة وكلفة قليلة اضافة الى امكانية تحديد خصائص التربة وطبقاتها وتحديد الصخور الصلدة Hard rocks واعماق وسمك الطبقات الحاملة للمياه الجوفية.

تستخدم الطرق السابقة مع بعضها البعض في تقييم ودراسة مدى ملائمة المواقع المقترحة للمشاريع الهندسية ووضع التصاميم الهندسية المناسبة لها وتوقع حجم ونوع المشاكل الهندسية واقتراح الحلول المناسبة لضمان نجاح المشروع وتقليل الخسائر البشرية والمادية.

تحريرات التربة Soil Investigations

تعتبر تحريات التربة من الاعمال الهندسية الاساسية التي تسبق وضع التصاميم للمشاريع الهندسية خاصة الكبيرة منها، والتي تتضمن جمع المعلومات واخذ عينات التربة من موقع المشروع والقيام بالفحوصات الحقلية والمختبرية وتقديم تقرير فني للمهندس المسؤول عن المشروع لاخذ النتائج بنظر الاعتبار في اعداد التصاميم وفي اثناء حفر الاساس وانشاء المشروع الهندسي وما بعده. تعتبر كلفة القيام بتحريات التربة جزء من الكلفة الكلية وترتبط نسبتها بنوع وطبيعة وحجم المشروع اضافة الى الطبيعة الطبوغرافية والجيولوجية للمنطقة وهذه التكلفة ذات مردود مهم وليست مفقودة اذا ما قورنت بالتكاليف الناتجة عن المشاكل الهندسية الناتجة عن اهمال هذه التحريات.

اهداف برنامج تحريات التربة Soil investigation objectives:

يهدف برنامج تحريات التربة الى تقييم مدى ملائمة الموقع المقترح للمشروع ويتطلب الحصول على المعلومات التالية:

1. عمق ونوع اساسات المشروع بما يتناسب وخصائص التربة وحجم المشروع.
 2. معرفة مقدار تحمل التربة نتيجة للاحمال المتوقعة الناجمة عن المشروع وبالتالي مقدار الهبوط المتوقع في الاسس.
 3. الاضرار البيئية والاقتصادية التي تسببها اعمال الحفر للمناطق المجاورة واعمال التنفيذ من اجل تقييمها ووضع الحلول المناسبة.
 4. معرفة نوع المياه الجوفية ومنسوبها وحركتها.
 5. تحديد عمق ونوع الطبقة الصخرية Bed rock في المنطقة.
 6. اختيار مواد التشييد الملائمة للمشروع.
- ان هذه المعلومات تساهم في اخذ القرار المناسب حول مدى ملائمة موقع المشروع واختيار التصميم وفضل الطرق للتنفيذ والصيانة المستقبلية ووضع الحلول للمشاكل الهندسية المتوقعة.

برنامج استكشاف التربة Soil investigation program

يعتبر هذا البرنامج لاي مشروع هندسي خاصة الكبيرة منها من العوامل التي يجب الاتفاق عليها بين الجهة المستفيدة (او المالكة) والجهة المنفذة والمكتب الاستشاري ويمر بمراحل رئيسية:

(1) مرحلة جمع المعلومات المتوفرة

وتتضمن المعلومات المتوفرة عن المشاريع المجاورة وطبيعة الاحمال الهندسية والمشاكل التي تعرضت لها وكيفية حلها وهذه المرحلة تمثل اعمال مكتبية Office works للتهيئة للاعمال اللاحقة ومن الامثلة على المعلومات المطلوبة فيها:

- المخططات المساحية للموقع .
- التقارير الفنية لتحريات التربة للمشاريع الهندسية السابقة والقريبة من الموقع المقترح.
- خرائط جيولوجية للمنطقة لمعرفة طبيعة الترسبات، عمق الطبقات الصخرية والتراكيب الموجودة.
- خرائط طبوغرافية للمنطقة تبين شكلها وطبيعتها الطبوغرافية والمداخل والمخارج المتوفرة.
- خرائط هندسية للمنطقة تبين المخاطر الجيولوجية فيها.
- بيانات هيدرولوجية ومناخية.
- أنظمة البناء المستخدمة وطبيعة مواد البناء والشروط الهندسية الخاصة بالموقع ان وجدت.

- المشاكل الهندسية في منشآت المنطقة القريبة مثل هبوط الاساسات وتصدع المباني ان وجدت.
- البنى التحتية المتوفرة في منطقة المشروع مثل خدمات المياه والكهرباء والمجاري وتصريف مياه الامطار.

(2) مرحلة استطلاع الموقع

وتتضمن زيارات ميدانية للموقع والمناطق المجاورة لمعرفة:

- طوبوغرافية المنطقة.
- نوع المزروعات التي قد تبين طبيعة التربة.
- حالة المياه السطحية ان وجدت وتصريفها.
- مرونة حركة النقل لداخل ومخارج الموقع.
- مقارنة المعلومات المكتوبة السابقة مع ما تم مشاهدته موقعيا.

(3) مرحلة التحريات الاولى

تبدأ هذه المرحلة باعمال جسات التربة Soil borings التي توزع باعداد معينة على موقع العمل وهي عبارة عن ثقب عمودية يتم حفرها في الموقع للحصول على عينات التربة لدراسة خصائصها وسمكها وتحديد منسوب المياه الجوفية اللازمة لعمل الدراسات ووضع التصاميم.

(4) مرحلة التحريات التفصيلية

تتضمن اجراء تحريات اكثر تفصيلا من المرحلة السابقة يتم فيها زيادة اعداد العينات المأخوذة من اعماق مختلفة.

عينات التربة Soil samples:

يعتبر الحصول على عينات التربة من اهم اعمال تحريات التربة للتعرف على نوعية التربة وخصائصها وهي ضرورية في وضع التصاميم الاساسية، وبشكل عام يمكن تصنيف عينات التربة الى نوعين: عينات مفككة Disturbed samples وعينات متماسكة او غير مفككة Undisturbed samples.

عينات مفككة Disturbed samples

وهي عينات التربة التي تكون بنيتها قد تغيرت وتفككت نتيجة الاستخراج ويتم الحصول عليها بالطرق اليدوية التقليدية او اليات الحفر الالية، ويجب وضعها في اكراس بلاستيكية لحفظ محتواها المائي وعدم تلويثها عند نقلها للمختبر ويكتب على الكيس اسم الموقع ورقم العينة والمكان والعمق وتاريخ الاستخراج، يمكن الاستفادة من هذه العينات لاجراء الفحوصات التي لا تتأثر بتغير بنية التربة مثل التدرج الحبيبي وحدود اتربرغ مثل حد السيولة واللدونة والمحتوى المائي الطبيعي للتربة.

عينات غير مفككة Undisturbed samples

وهي عينات تحتفظ ببنيتها وخواصها الاصلية كما موجودة في موقعها ويمكن الحصول عليها بالطرق اليدوية التي يتم العناية بها او المعدات الالية المتخصصة لآخذ العينات. تستخدم هذه العينات للفحوصات التي تتطلب معرفة خصائص التربة كما هي دون تغيير مثل اختبارات القص والنفاذية وغيرها، ويحتاج هذا النوع من العينات الى حرص في عملية النمذجة باتباع بعض الخطوات المهمة مثل:

- تغليف العينة بالشمع المنصهر او انابيب البلاستيك المحكمة للحفاظ عليها ومنع فقدان محتواها المائي.
- نقل العينة بسرعة الى المختبر لاجراء الفحوصات.

- ترتيب العينات في صندوق خاص للحفاظ عليها من الحرارة والاهتزازات.
 - كتابة بيانات العينة من حيث اسم الموقع والعمق وتاريخ الاستخراج.
- يبين الشكل بعض عينات التربة وطريقة حفظها في صناديق خاصة مع تدوين المعلومات المطلوبة.

No. 48751
DATE: _____
LOCATION: _____
REMARKS: _____
ANALYSIS: _____
TAKEN BY: _____
DATE: _____
ANALYSIS: _____



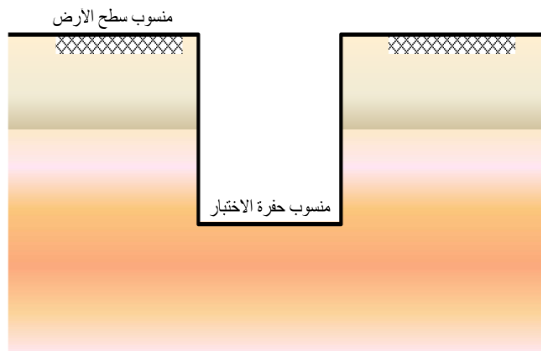
عينات التربة والمعلومات التي يجب كتابتها على العينة

طرق اخذ العينات (عمل جسات التربة) Soil borings methods

يوجد العديد من الطرق لعمل جسات التربة منها ما يتم بطرق يدوية واخرى بمعدات آلية:

الطرق اليدوية التقليدية Manual methods

وهي طرق بسيطة قليلة الكلفة تتمثل بعمل حفرة الاختبار Test pit كما مبين في الشكل، يتم عملها بشكل مربع او مستطيل او دائرة وبعمق محدود يعتمد على طبيعة التربة وثبات جوانب الحفرة الجانبية، تستخدم للحصول عينة من قاع الحفرة او جوانبها وغالباً ما تكون العينات مفككة الا اذا تم اخذ الاحتياطات الفائقة عند استخراج عينات شبه متماسكة كما يمكن تحديد منسوب المياه الجوفية اثناء اعمال الحفر اذا كان قريباً من سطح الارض.



الطريقة اليدوية لعمل حفرة الاختبار

كما تستخدم بعض الادوات اليدوية لعمل الجسات مثل المثاقب اليدوية Hand augers كما مبين في الشكل والتي تستخدم للتربة الناعمة كالطين في المشاريع الصغيرة مثل الابنية واعمال الطرق خاصة في المناطق الضيقة التي يصعب فيها استخدام المعدات الآلية لعمل الجسات العميقة. تحتاج هذه الادوات الى قوة عضلية من الشخص للوصول على اعماق ضحلة لا تتجاوز بضعة امتار توفر لنا عينات مفككة يمكن استخدامها في بعض الفحوصات المختبرية التي لا تتطلب عينات غير مفككة.



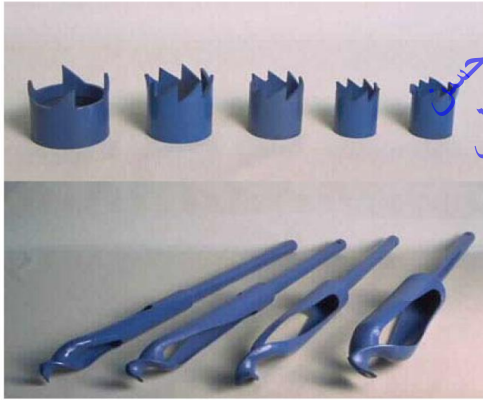
المثاقب اليدوية Hand augers

استخدام المعدات الآلية

تحتاج بعض المشاريع خاصة الضخمة منها الى عمل تحريات على اعماق كبيرة وبأعداد كبيرة لذا لابد من استخدام معدات آلية تستخدم طرق حفر مختلفة منها:

■ الحفر الدوراني Rotary drilling

يتم في هذه الطريقة الحفر بدوران رأس حفر بسرعة عالية وضغط يؤدي الى تفتيت التربة ونفاذ رأس أو لقمة الحفر Drilling bit ويصاحب هذه العملية ضخ الماء مع الطين من خلال انابيب الحفر لتقليل الاحتكاك وزيادة سرعة الحفر، وتستخدم رؤوس حفر بأحجام وأشكال مختلفة تتناسب مع طبيعة التربة، المبينة بعض منها في الشكل.



لقم الحفر بأشكال مختلفة



طريقة الحفر

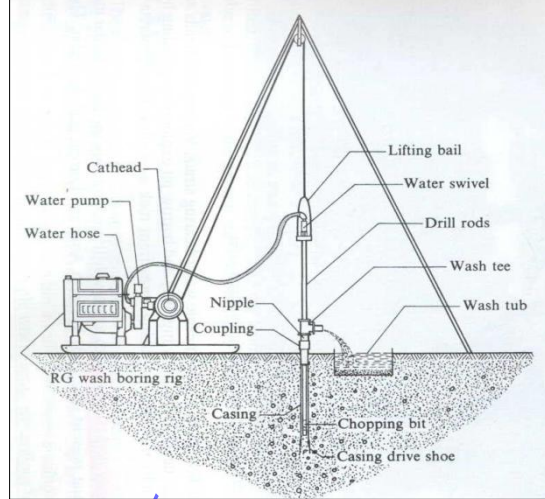
ويمكن باستخدام هذه الطريقة الحصول على عينات غير مفككة من اعماق مختلفة باستخدام اسطوانة خاصة لآخذ العينة Sampler تثبت في عمود الدوران كما مبين في الشكل.



Soil samplers

■ الحفر بالغسيل Wash boring

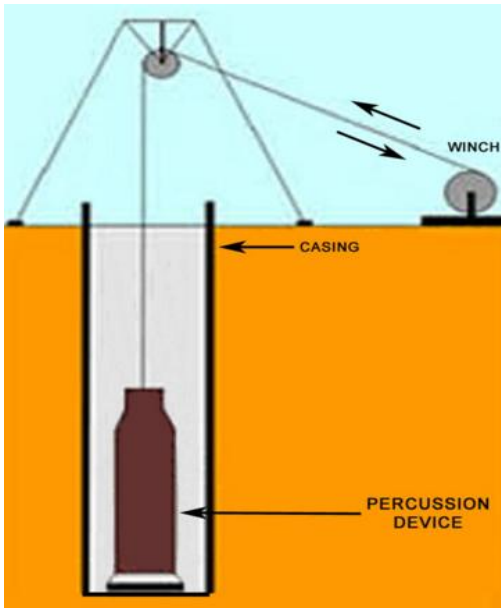
تبدأ عملية الحفر بهذه الطريقة بدق انابيب معدنية Casing داخل التربة بعمق 3-4 متر لتثبيت الحفرة ومنع انهيار جدرانها ثم يتم ازالة التربة بواسطة ضغط الماء الذي يصل اليها من خلال الثقوب في لقمة الحفر اسفل ذراع الحفر ويندفع فتات التربة مع الماء بين ذراع الحفر وانبوب التبتين ليتم تجميعها في حوض جانبي تؤخذ منه عينات التربة لفحصها. يبين الشكل التالي هذ الطريقة لاختذ العينات والتي تستخدم بشكل شائع للتربة غير المتماسكة مثل التربة الرملية والحصى ولاتوفر لنا سوى عينات مفككة.



طريقة الحفر بالغسيل

■ الحفر بالطرق Percussion drilling

تستخدم هذه الطريقة بشكل خاص في المناطق ذات التربة الصلبة والصخور اذا يتم تفكيك التربة والصخور عن طريق الدق المستمر اسفل الحفرة بواسطة لقمة الحفر كما مبين في الشكل ويمرر الماء على التربة المفتتة لتندفع الى خارج الحفرة ويتم التعرف على تغير الطبقات عن طريق تغير معدل سرعة الحفر. تمتاز هذه الطريقة بفعالية عالية في مختلف انواع التربة وامكانية الوصول الى مستوى المياه الجوفية لكن المعدات المستخدمة تكون ثقيلة والطريقة بطيئة نوعا ما.



طريقة الحفر بالدق

طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي Geophysical exploration methods

تعتبر طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي المختلفة من الطرق الأساسية المستخدمة في عمليات استكشاف الموقع Site Investigation عند إقامة المشاريع الكبيرة كالسدود والانفاق والطرق السريعة وغيرها. **الهدف الاساسي** من استخدام هذه الطرق في مجال إقامة المشاريع الهندسية هو استكشاف الموقع ومراقبته بجهد ووقت وكلفة اقل مقارنة بطرق مثل حفر الابار وتقليص عددها قدر الامكان. اذ تتطلب المشاريع الهندسية الضخمة الحصول على صورة واضحة وتفصيلية عن الوضع الجيولوجي والتركيب للموقع خاصة للاعماق القريبة من سطح الارض حيث توضع الاسس وهذا يتطلب في كثير من الاحيان حفر ابار تجريبية للحصول على النماذج وهي مكلفة لذا قد يرى المختصون ضرورة القيام بمسوحات جيوفيزيائية لربط المعلومات وتفسيرها لتوفير صورة واضحة ودقيقة من خلال اعطاء نموذج جيولوجي لباطن الارض يمكن الاعتماد عليه في تصميم وتنفيذ الاسس الملائمة وكذلك يمكن استخدام هذه الطرق في مراقبة المنشآت الهندسية اثناء وبعد اقامتها.

تعتمد الطرق الجيوفيزيائية على قياس ودراسة الخواص الفيزيائية المختلفة للتربة والصخور كخواص المقاومة الكهربائية وخواص المرونة وكثافة الصخور وخواصها المغناطيسية وغيرها. وتتم قياس هذه الخواص بشكل مباشر على سطح الارض كما يمكن استخدامها في البحر او باستخدام الطائرات المزودة باجهزة حساسة.

ومن الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة:

1. الطرق الكهربائية Electrical Methods
2. الطرق الزلزالية Seismic Methods
3. طريقة رادار الاختراق الارضي Ground Penetrating Radar
4. الطريقة الجذبية Gravity Method
5. الطريقة المغناطيسية Magnetic Method

وتعتبر **الطرق الكهربائية والزلزالية** من اهمها واكثرها استخداماً في مجال الهندسة المدنية في عمليات استكشاف الموقع ومراقبته خاصة في مشاريع مثل انشاء السدود والخزانات المائية والانفاق والخزن الجوفي وانشاء الطرق السريعة والجسور.

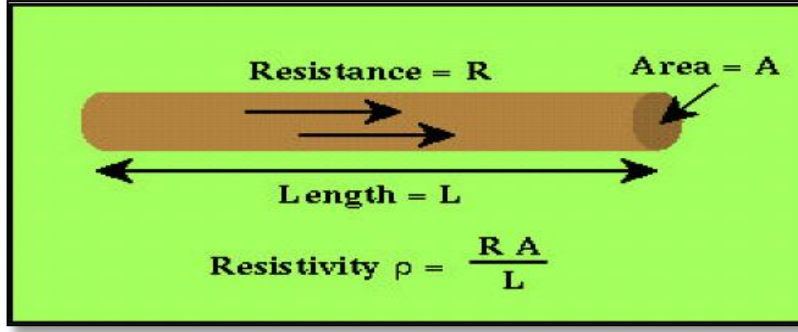
الطرق الكهربائية:

وهي مجموعة من الطرق التي تعتمد على قياس التأثيرات الناتجة عن التيارات الكهربائية الطبيعية او المصطنعة في باطن الارض و لها تطبيقات عديدة كالبحت عن الفلزات والمعادن والمياه الجوفية وتستخدم بدرجة متزايدة في الجيولوجيا الهندسية حيث تستخدم في تحديد طبيعة الترسبات تحت السطح ولإيجاد عمق صخور الأساس ومستوى سطح المياه الجوفية وسمك الطبقات الخازنة للمياه الجوفية.

طريقة المقاومة النوعية الكهربائية Electrical resistivity Method

المقاومة الكهربائية Electrical resistance هي الممانعة او المقاومة التي تبديها الصخور والتربة لمرور التيار الكهربائي وتعرف المقاومة النوعية الكهربائية Electrical resistivity لأي مادة على أنها مقاومة إسطوانة منها ذات مقطع عرضي مساحته وحدة المساحة وطول الإسطوانة وحدة الطول. لو أن مقاومة Resistance إسطوانة موصلة ذات طول L و مساحة مقطع عرضي A هي R فان المقاومة النوعية ρ يعبر عنها بالمعادلة:

$$\rho = R A / L$$



لو أردنا أن نعرف وحدة القياس للمقاومة النوعية فإن:

$$\rho = R \cdot A/L = \text{Ohm.m}^2 / \text{m} = \text{Ohm.m}$$

إن التوصيل الكهربائي في معظم الصخور والتربة هو من النوع الإلكتروليتي يحصل عن طريق المحاليل الموجودة في مسامات وشقوق التربة والصخور وذلك لأن معظم الحبيبات المعدنية عازلة (ماعد الخامات الفلزية والمعادن الطينية)، لذلك تعتمد مقاومة الصخور والتربة عموماً على مقاومة الماء الموجود في فراغاتها وملوحته والمسامية ودرجة التشبع ولهذا هناك علاقة وثيقة بين المقاومة النوعية للتربة والصخور وخصائصها كالمسامية والمحتوى المائي ودرجة التشبع مما يجعلها ذات فعالية كبيرة في الدراسات الهندسية الضحلة.

تتأثر المقاومة النوعية بعوامل عديدة لذلك تعتبر معاملًا متغيراً بشكل كبير ليس فقط من تكوين صخري إلى آخر ولكن حتى ضمن التكوين نفسه؛ حيث لا توجد مضاهاة عامة بطبيعة الصخور مع المقاومة ولكن هناك تصنيفاً واسعاً يترتب بموجبه تصنيف الترسبات والصخور المختلفة اعتماداً على تغير مقاومتها النوعية.

العوامل التي تتحكم أو تؤثر في المقاومة النوعية للصخور Factors affecting electrical resistivity of rocks

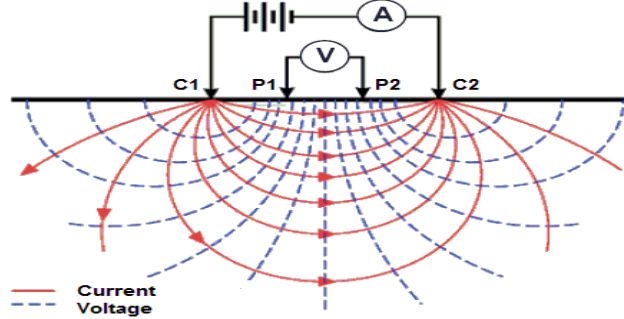
- 1- كمية الماء الموجود في مسامات الصخور و هي تتناسب عكسياً مع المقاومة النوعية أى كلما زاد كمية الماء بالمياه قلت مقاومته لمرور التيار الكهربائي.
- 2- ملوحة الماء و هي تتناسب عكسياً مع المقاومة النوعية أى كلما زاد ملوحة المياه الجوفية قلت مقاومة الصخر لمرور التيار.
- 3- المسامية لزيادة الممرات التي تساعد على حركة الماء وبالتالي فهي تتناسب عكسياً مع المقاومة النوعية أى كلما زاد المسامية قلت مقاومة الصخر لمرور التيار.
- 4- درجة الحرارة إذ أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض لزوجة الصخر وبالتالي حرية حركة الايونات فيها و بالتالي نقصان المقاومة الكهربائية.
- 5- المعادن الطينية في التربة تزيد من توصيلية الصخور (نقصان مقاومتها) لوجود الايونات على سطوحها التي تعمل على زيادة التبادل الايوني.
- 6- الشقوق الموجودة في الصخور تعمل كممرات لحركة المياه وبالتالي تقلل من مقاومة الصخور.

طرق المسح الحقلية لقياسات المقاومة النوعية Data acquisition

أن قياس المقاومة النوعية تتطلب إمرار تيار كهربائي في الأرض عن طريق زوج من الأقطاب وإستخدام زوج آخر لقياس الجهد المصاحب للتيار. لنفترض أن جسماً صخرياً مقاومته النوعية تساوي ρ وأن تياراً قيمته I أدخل في هذا الجسم الصخري من خلال قطبي التيار $C1$ و $C2$ وأن فرق الجهد المصاحب ΔV لهذا التيار يقاس عبر قطبي الجهد $P1$ و $P2$, فإن مقاومته النوعية تساوي:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

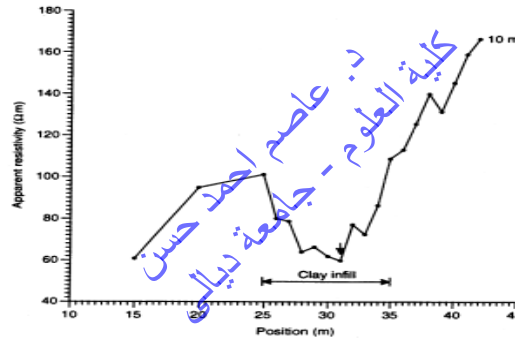
حيث K يعرف بالمعامل الهندسي Geometric factor ويعتمد على ترتيب الاقطاب.



يمكن اخذ قياسات المقاومة النوعية الكهربائية في الحقل باستخدام عدة طرق:

1. طريقة التحري الافقي Horizontal profiling

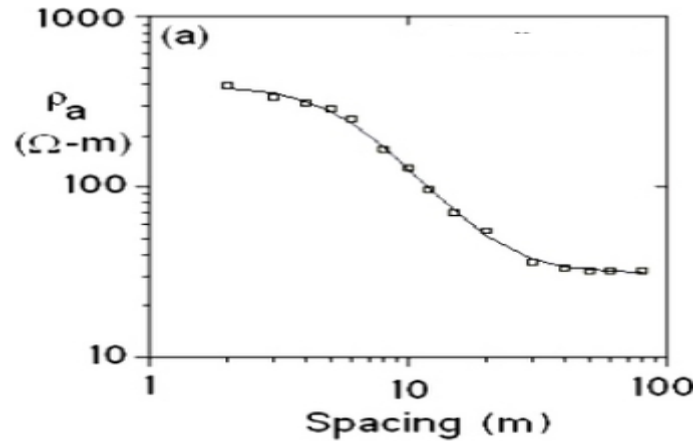
وفيه يتم اخذ قراءات للمقاومة النوعية على امتداد مسار للمسح مع تثبيت المسافة بين الاقطاب لمعرفة التغيرات الجانبية في المقاومة.



Horizontal profiling

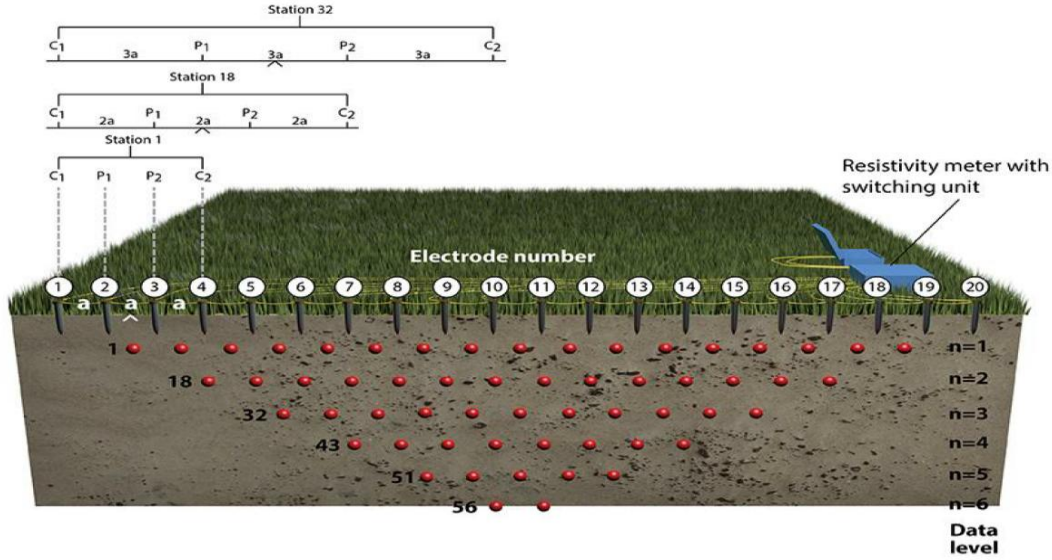
2. طريقة التحري العمودي Vertical sounding

وفيه يتم تثبيت نقطة المسح و زيادة المسافة بين الاقطاب باستمرار للحصول على قراءات لتغير المقاومة مع العمق.

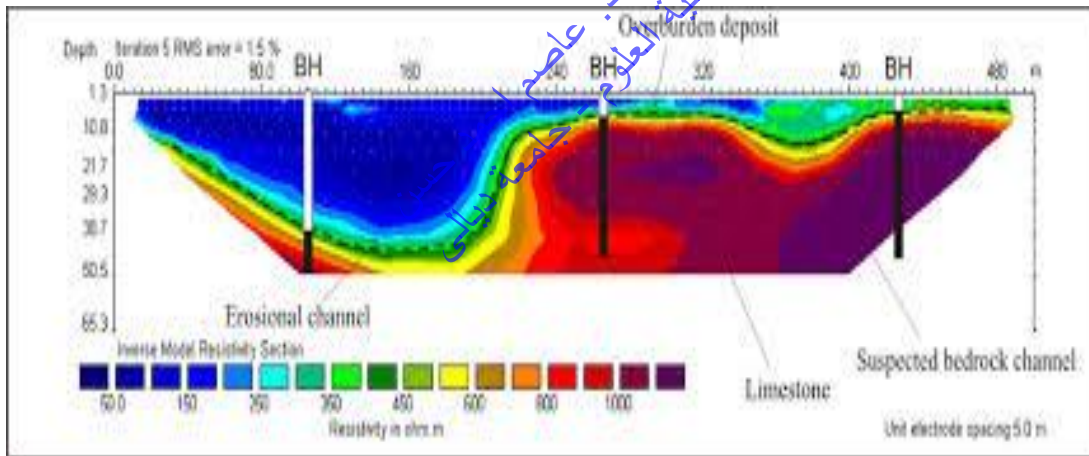


Vertical sounding

3. طريقة المقاومة النوعية التصويرية Electrical Resistivity Imaging وفيها يتم اخذ القراءات لمختلف المسافات الفاصلة ولعدد من الاعمق لتكوين صورة ثنائية 2D او ثلاثية الابعاد 3D لتوزيع المقاومة النوعية تحت السطح، وهي احث الطرق واكثرها استخداما حاليا.



Electrical Resistivity Imaging



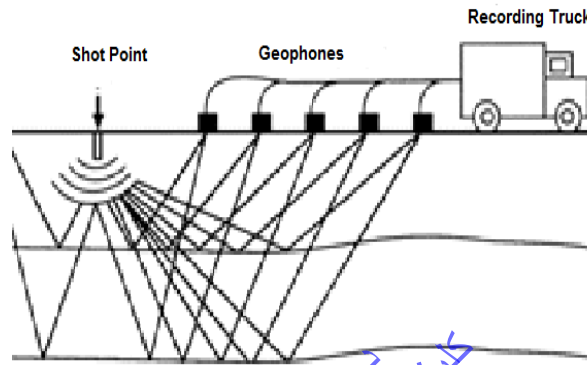
2D resistivity Section

- اهم استخدامات طريقة المقاومة النوعية الكهربائية في المشاريع الهندسية:
1. تعيين عمق الصخور الصلبة Bed Rocks وهي مهمة في المنشآت الهندسية الضخمة كالسدود والانفاق.
 2. تعيين التراكيب الجيولوجية تحت سطحية كالصدوع والطيات.
 3. تعيين نوع ومواقع مواد البناء كالحصي والرمل والاحجار الكلسية.
 4. دراسة المياه الجوفية، نوعها، مناسبيتها، امتدادها وحركتها.
 5. تحديد نوعية الترسبات والصخور تحت سطح الارض والتغيرات الافقية والعمودية فيها.
 6. الكشف عن الفجوات الموجودة تحت السطح.
 7. تقدير بعض الخواص الفيزيائية المهمة كالمسامية والمحتوى المائي.

الطرق الزلزالية Seismic Methods

تعتمد الطرق الزلزالية على قياس التباين في سرعة الموجات الزلزالية في صخور الارض والذي ينشأ نتيجة للتباين في خواص المرونة لهذه الصخور مما يؤدي الى تعرض هذه الموجات الى انعكاسات وانكسارات عند انتقالها في الاوساط المختلفة في طبيعتها ودرجة تماسكها اذا تكون هذه الموجات اسرع في الصخور الصلدة المتبلورة والمتماسكة منها في الصخور الهشة المفككة.

يتم استخدام مصدر سطحي source لتوليد الموجات ويتم عادة بالطرق على الارض باستخدام مطرقة Hammer او اسقاط اثقال او تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات (الديناميت) على او بالقرب سطح الارض وتعرف هذه بنقطة التفجير (shot point) التي تنطلق منها الموجات في جميع الاتجاهات ثم يتم التقاط الموجات بواسطة الاقطات الارضية Geophones الموضوعة على خط التفجير بمسافات متساوية وترتبط الاقطات باجهزة تسجيل خاصة يتم فيها تسجيل الفترات الزمنية للوصول.



الطريقة الزلزالية

طرق الاستكشاف الزلزالي:

هناك طريقتين اساسيتين:

1. الطريقة الانعكاسية Reflection Method

وتعتمد على دراسة الموجات المنعكسة وتستخدم في الاستكشافات العميقة Deep investigations كالتحري عن النفط.

2. الطريقة الانكسارية Refraction Method

وتعتمد على دراسة الموجات المنكسرة وتستخدم في الاستكشافات الضحلة Shallow investigations كمعظم المشاريع الهندسية وتمتاز بكونها:

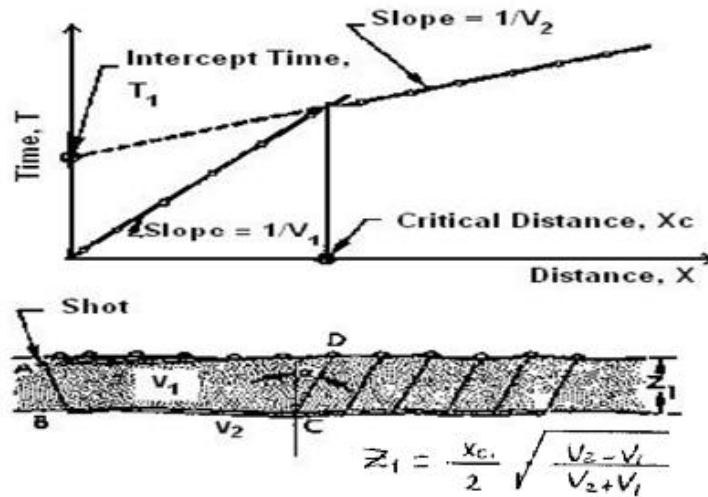
1. طريقة عملية دقيقة ويمكن ان تغطي مساحات واسعة.

2. تتطلب وقتا وكلفة اقل مقارنة بطرق اخرى كالحفر.

وتتم عملية حساب سرعة الموجات من خلال رسم منحنى الزمن- المسافة التي تبعد بها الاقطات الارضية عن المصدر (Time- Distance Curve) اذا ان ميل هذا المنحنى يمثل مقلوب سرعة الموجات في الوسط الذي تنتقل فيه.

$$\text{Slope} = \text{Time/Distance} = 1/\text{Velocity} = 1/V$$

فاذا كان مسار الموجة في وسط واحد فيكون هناك منحنى ذو ميل واحد اما اذا كان مسار الموجة عبر وسطين مختلفين في السرعة عندئذ يكون المنحنى متكون من جزئين ولكل جزء ميل يختلف عن الآخر وان مقلوب ميل الجزء الاول يمثل السرعة في الوسط الاول وان مقلوب ميل الجزء الثاني يمثل السرعة في الوسط الثاني وهكذا وتسمى منطقة التقاء الجزئين المختلفتين في الميل بالمسافة الحرجة (Critical Distance) ويرمز لها X_c . وبعد تحديد سرعة الانتقال والمسافة الحرجة وزمن القطع من المنحنى يمكن ايجاد عمق الحد الفاصل بين الوسطين المختلفين.



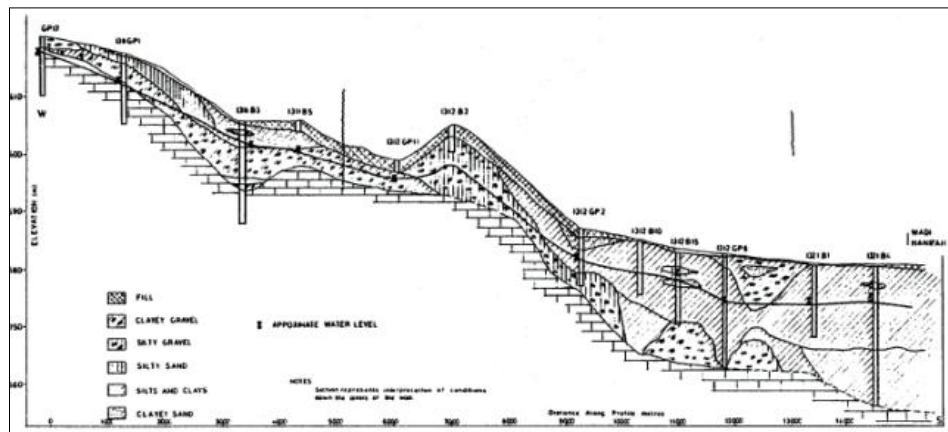
منحني المسافة - الزمن (طبقتين)

اهم استخدامات الطريقة الانكسارية في مجال الهندسة المدنية:

1. تستخدم في مرحلة استكشاف الموقع لتحديد الطبقات الصخرية المختلفة.
2. تحديد عمق طبقة الصخور الاساس Bed rock.
3. تحديد سمك الطبقات الصخرية وامتدادها ومناطق الضعف كالصدوع والفجوات وغيرها.
4. تحديد منسوب المياه الجوفية وامتداداتها وبالتالي تقليل عدد الابار الاختبارية المطلوبة.
5. لها اهمية في تحريات التربة للحصول على بعض المعاملات الهندسية ومقارنتها ببعض الفحوصات الجيوتكنيكية.

مقطع التربة Soil profile

وهو مقطع لتربة الموقع المقترح يمر بحفر الاختبار وجسأ التربة والذي يوضح تسلسل طبقات التربة وسمك كل طبقة وعمق الطبقة الصخرية ومنسوب المياه الجوفية يتم رسمه بمقياس رسم مناسب ويعتبر مقطع التربة من اهم نتائج تحريات التربة التي يعتمد عليها في وضع التصاميم الاساسية للمشروع.



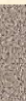
Soil profile

تقرير تحريات التربة Soil Investigation report

تعتبر كتابة التقرير الفني عن تحريات التربة هي المرحلة الاخيرة من برنامج تحريات موقع المشروع site investigation والذي يجب ان يشمل جميع البيانات ونتائج الفحوصات المختبرية والحقلية المتعلقة بالموقع المقترح وبالتالي فان هذا التقرير يعد المرجع الاساسي لوضع التصميم الخاص بالمشروع والمراحل اللاحقة لبناء المشروع والمراقبة المستقبلية، ويجب ان يحتوي التقرير على مايلي:

- العنوان الرئيسي للتقرير
- محتويات التقرير
- وصف عام للمنطقة والموقع المقترح
- الوضع الجيولوجي والطبوغرافي والهيدرولوجي للموقع
- برنامج التحريات من حيث توزيع حفر الاختبار والجسات واعدادها واعماقها ومواقعها على الخارطة
- وصف التربة في المنطقة وطبقاتها
- وصف الطبقة الصخرية وتحديد عمقها
- تقييم المياه الجوفية من حيث منسوبها وطبيعة خزانات المياه الجوفية ونتائج تحليلها الكيميائي
- نتائج الفحوصات الحقلية والمختبرية
- خلاصة التقرير
- التوصيات بشأن نوعية الاسس واعماقها والمواد التي يجب ان تستخدم فيها وقدرة تحمل التربة والهبوط المتوقع.. الخ
- ملاحق في نهاية التقرير وتشمل:
 - سجلات الحفر والمقاطع الخاصة بها
 - الجداول التي تبين نتائج الاختبارات الحقلية والمختبرية
 - المخططات والصور الفوتوغرافية لاعمال التحريات الموقعية



BOREHOLE 1						
GEOTECHNICAL SOIL BORING LOG						
Project Name : New Buildings of Diyala University-Part II				Project Location: Baquba city/ Diyala Governorate.		
Boring Date : 22 / 02 / 2015			Method of Boring : Flight Auger			
Total Depth of Boring : 20.0m			Ground Level : N.G.L			
Depth (m)	Sample	Legend	Soil Description	Wc %	N ₆₀ correct	Comments
1.5	SPT		Light to dark brown low plasticity clay (CL) 		5	
3.0	US			21.51		
5.0	SPT				18	
7.0	SPT				28	
9.0	US			22.10		
12.0	SPT		Dark gray silty sand (SM)		26	
13.0	SPT					
14.0	SPT					
15.0	SPT				20	
20.0	SPT				26	

Documentation of the site investigation

المخاطر الجيولوجية Geohazards

المخاطر الجيولوجية Geohazards هي ظروف جيولوجية وبيئية ناتجة عن عوامل جيولوجية قصيرة أو طويلة الأمد بابعاد محلية أو اقليمية واسعة أو 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 الجيولوجية 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 تجنباً 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 اعتماداً على:

1. معدل الحركة النسبية التي قد تكون تكون مفاجئة او سريعة Rapid movement تسبب كوارث مدمرة او بطيئة Slow movements تمتد لفترات طويلة جداً.
2. نوع الحركات السائدة كالانهيار Avalanche والانزلاق 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 للأسطح المائلة في المناطق الجبلية او الميول الصناعية التي هي من فعل الانسان مثل ميول الحفر التي تستخدم للوصول الى اعماق الاسس والمنحدرات 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 تمييز الانواع التالية من الانهيارات:

1. الانهيارات الصخرية

وتحصل عند وجود كتل صخرية على منحدرات شديدة الميل تتسبب 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 مناسبة تتحرك مع الانحدار وتعتبر من اهم مشاكل التي تواجه مشاريع الطرق وسكك الحديد.



3. الانهيارات الرملية

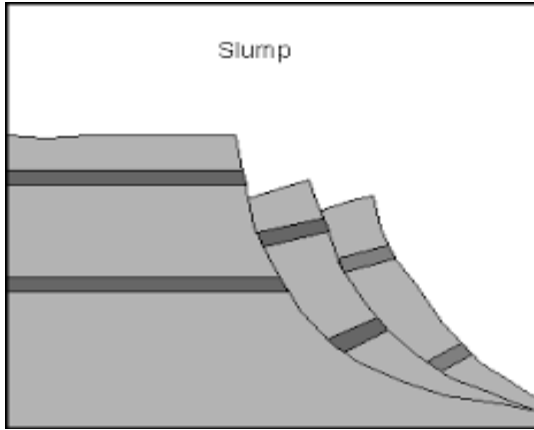
وتحصل في الاجسام الرملية التي تتجرف خاصة بفعل عوامل التعرية على سطوح شديدة الانحدار مثل ضفاف الانهار او الشواطئ حيث تسبب المياة الجارية تعرية هذه الاجسام وتكسرها بشكل كتل وحطام صخري منزلق خاصة في مواسم الفيضانات او حركة الامواج البحرية الشديدة.



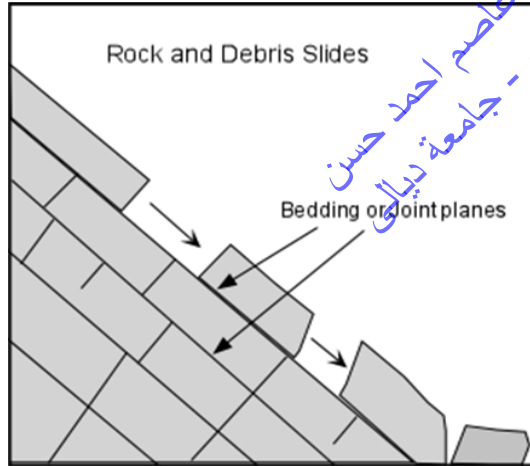
الانزلاقات Slides

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

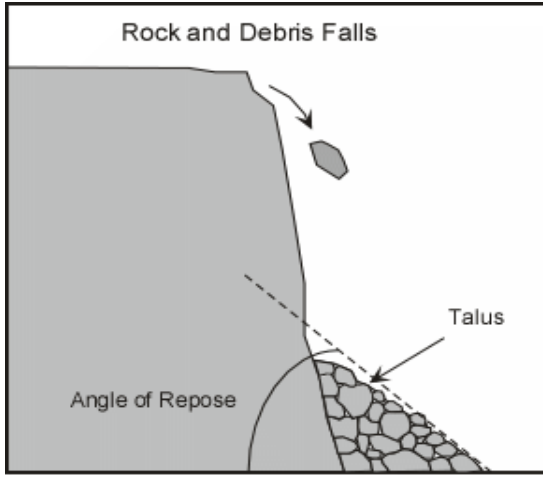
1. الهبوط الارضي **Slump**: ويشمل حركة الكتل الصخرية او المواد غير المتماسكة التي تتحرك كوحدة صغيرة على امتداد مستوى قص Shear Zone وقد يحصل نتيجة للاعمال الهندسية كشق الطرق ايضا.



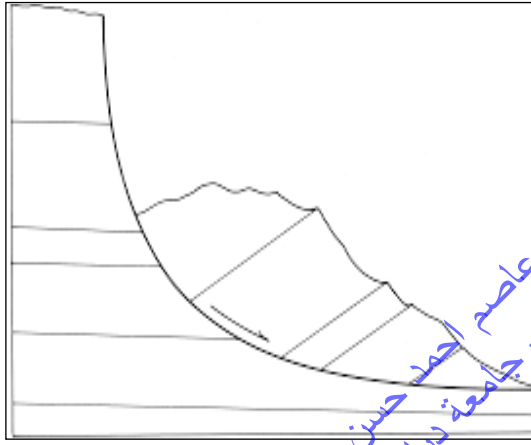
2. انزلاق الركام (الحطام) والصخور **Rock and Debris slide** وهي الحركة السريعة للركام الصخري غير المتماسك والذي يحوي على كميات قليلة من المياه يحصل على امتداد مستويات الطبقات والفواصل وقد يحصل هذا النوع بعد حدوث الهزات الارضية او هطول الامطار الغزيرة.



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 تنكسر نتيجة الاصطدام.



و العوامل الاساسية في حدوث الانزلاقات هي:

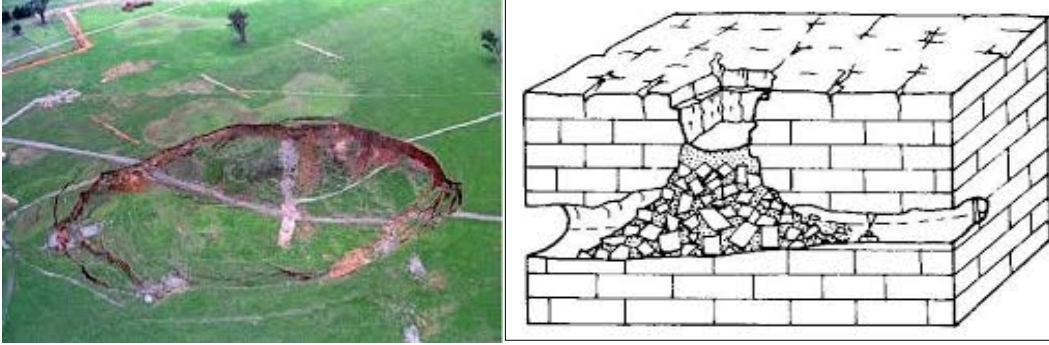
1. وجود طبقات صخرية ضعيفة او مواد غير مترابطة كالرمل والحصى.
2. وجود طبقات سميكة وصلبة فوق طبقات ضعيفة.
3. وجود مستويات التطابق والفواصل والصدوع ذات الميل الشديد.
4. وجود جروف صخرية ذات انحدار شديد.
5. قلة الغطاء النباتي.

اما العوامل المسببة في بدء الحركة:

1. ازاحة الركائز بالعوامل الطبيعية كالمياه والثلجات 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.

Subsidences الانخفاضات

تنتج عن حركة شاقولية للكتل الأرضية الناتجة عن ضعف أو 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 الأرضية والبراكين.

Slow Movements الحركات الأرضية 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

1. زحف التربة: وتعتبر من اهم انواع الحركات الأرضية 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. 2. انحناء وانجراف الاعمدة والاسيجة.

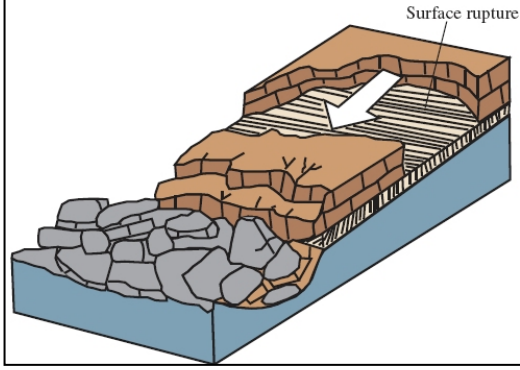


اما اهم اسباب زحف التربة:

1. التقلص والتمدد بسبب 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.

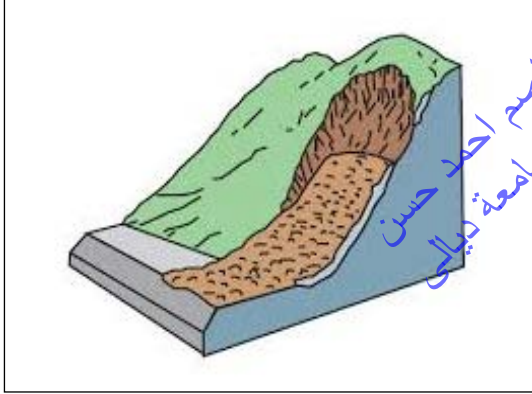
2. انسياب الارض Earth flow

وتحدث هذه الظاهرة عندما تنتشر 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 تنتشر هذه الترسبات الغنية بالمعادن الطينية فتبدأ بالانسياب وتنقل معها الفتات الصخري كما تساعد على تزلزل الطبقات ونتيجة الى لزوجتها الواطئة تزداد سرعتها.



استقرارية المنحدرات Slop Stability

تتحكم قوتين رئيسيتين في استقرار المنحدرات:

1. قوة الازاحة او التحريك 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

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)

الأضرار والتكاليف Damages and costs

تسبب الانهيارات الأرضية باضرار ومشاكل هندسية ذات كلفة عالية لمختلف المشاريع. وتعتبر الطرق السريعة والسكك الحديدية وانباء النقل من أكثرها تأثراً كما تتأثر الابنية والمنشآت وكذلك المجمعات السكنية والاراضي الزراعية الى اخطار جسيمة نتيجة لحصول الانهيارات الأرضية كما تتعرض البحيرات الطبيعية والمصطنعة وكذلك الانهار الى اضرار بالغة نتيجة لتراكم الفتات الصخري الناتج عن الانهيارات الأرضية، اضافة الى ذلك تسبب الهزات الأرضية 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 المنشآت ولغرض زيادة استقرارية المنحدرات والاراضي غير المستقرة يلجأ الجيولوجيون والمهندسون الى استخدام التقنيات المختلفة للتقليل من خطر الانهيارات الأرضية ومن اهم هذه الوسائل:

1. خفض 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 الأرضية.
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 الأرضية.
4. اقامة الجدران الساندة عند المنحدرات لمنع انهيار الكتل الصخرية فوق طرق النقل او المباني والمنشآت الهندسية القريبة.
5. استخدام 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 (موقت 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

التنبؤ ودرء المخاطر Prediction and Prevention

ان معظم الانهيارات الارضية تحصل نتيجة لضغوطات تستمر معظمها لفترات طويلة ولذلك وبالإضافة 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 والآثار الناجمة عن الاحمال الهندسية اثناء وما بعد اقامة المشاريع الهندسية ويلجأ الجيولوجيون والمهندسون الى اخذ العينات الصخرية لدراسة الخصائص الفيزيائية والهندسية حقلية ومختبرية والتي تساعد في التنبؤ بالآخطار المستقبلية ووضع الحلول لدرء المخاطر كما طور المختصون تقنيات حديثة تتمثل بنصب المجسات والأجهزة المختلفة في المناطق غير المستقرة كمجسات قياس المحتوى المائي وأجهزة قياس الضغط وميل الطبقات ومحطات المراقبة المناخية بالإضافة الى أجهزة الاستشعار عن بعد واستخدام الأقمار الصناعية وأجهزة الرصد الزلزالي و أنظمة المقاومة النوعية الكهربائية وغير من الوسائل التي توفر مراقبة مستمرة للمواقع وتوفر للمعنيين تقارير مفصلة عن الأخطار الآتية والمستقبلية.