جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل الاول : المقدمة

1. تعريف الجيولوجيا

تعرف الجيولوجيا (Geology) على انها علم دراسة الارض وهي مكونة من مقطعين (Geo) وتعني الارض و (logos) تعني علم. ويهتم هذا العلم بدراسة وتفصيل الامور التالية:

- اصل الارض: مكوناتها، شكلها، تاريخها والعمليات التي اثرت وتؤثر على شكلها السابق والحاضر.
- القوى الطبيعية المؤثرة التي غيرت ولا تزال تغير كوكبنا.
- التركيب الكيمياوي للمكونات وماضيها كما تعكسه البقايا العضوية التي حفظت في طبقات القشرة الارضية.
- الاجسام الساقطة من خارج الغلاف الجوي التي قد تعكس المراحل الاولية لتكونها او التي يشترك تاريخها مع الحوادث وطبيعة القوى التي اوجدت الارض.
- بقايا الاشكال والمراحل البيئية المتباينة التي مرت بها القشرة الارضية.

وبالتالي فأن جميع المعلومات المستقاة من دراسة كوكب الارض قد وضعت لخدمة البشرية للبحث واكتشاف الموارد المفيدة في باطنها ، وللتعرف اكثر على الظروف المستقرة والمساعدة لتزويدنا بالمعلومات المسبقة للمخاطر المرافقة للقوى الديناميكية الطبيعية للارض.

يقع على عاتق المهندس او العالم الجيولوجي البحث عن المزيد من الاجوبة لغرض تطوير الفهم الانساني للارض من خلال البحث العلمي الدقيق حول واقع الاشياء. وعليه فأن هذا الشخص يكون مؤهلا بسبب معرفته الخاصة بالعلوم الجيولوجية من خلال الخبرة والتعليم المهني الذي تدرب عليه. وابرز المهام التي تدرب عليها هي:

- فحص المواقع واجراء الاختبارات الميدانية وتقييم التضاريس الارضية للاغراض الجيولوجية الهندسية.
- دراسة مواقع الانفاق والسدود والمنحدرات الصخرية وحماية الشواطئ من الناحية الجيولوجية الهندسية.
- تقييم الاثار الناتجة عن مخاطر السيول والفيضانات والزلازل والبراكين والتصحر وايجاد الحلول المناسبة لها.

2. فروع علم الارض

اتفق العلماء على ان ابسط تصنيف وتقسيم لعلم الارض هو اخذ الحالات الثلاث للمادة بنظر الاعتبار، وبالتالي يقسم علم الارض الى الفروع الاساسية التالية:

اولا: العلوم الجيولوجية: وتتعلق بدراسة الجزء (الصلب) اليابس الظاهر من الارض ويشمل ايضا دراسة الخواص الفيزياوية والكيمياوية لمكونات القشرة الارضية. كما يقسم هذا الجزء الى مجموعة فروع ذات تخصصات دقيقة ومتشعبة، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر: علم الصخور، علم المعادن، علم البلورات، علم الطبقات، علم الزلازل، علم البراكين، علم الجيولوجيا التركيبية، علم الجيولوجيا الاقتصادية، علم الجيولوجيا الهندسية، علم الجيولوجيا المائية، علم الجيولوجيا البيئية، علم جيولوجيا المناجم، علم جيولوجيا النفط ... الخ.

ثانيا: علم المياه: ويتعلق بدراسة الجزء (السائل) للارض كالمياه السطحية: كالبحار والمحيطات والانهار والبحيرات، ويشمل ايضا دراسة مصادر المياه الجوفية وحركتها داخل الارض.

ثالثا: علم الانواء الجوية: ويتعلق بدراسة الغلاف (الغازي) الجوي للارض، ويشمل دراسة طبقات الغلاف الجوي والغازات المكونة لها.

3. إسهامات العلماء العرب في علم الارض

كان للعلماء العرب والمسلمين دور لا يمكن نكرانه في معالجة المفاهيم والافكار العلمية المتعلقة بالعلوم الجيولوجية. فقد كان للعلوم والفلسفة الطبيعية مكانة متميزة في الحضارة العربية والاسلامية حيث كان لهذه العلوم طبيعة متكاملة وحاوية لمختلف العلوم الطبيعية وصولا الى فهم موحد لنظام الطبيعة حيث قسموا العلوم الى مملكة الحيوان ومملكة النبات ومملكة المعادن. لذلك فأن ولوج العلماء العرب في فهم مملكة المعادن قد قادتهم الى تثبيت العديد من القوانين والمشاهدات الجيولوجية الدقيقة في تصوير التغيرات التدريجية لسطح الارض وانتقال مواقع البحار واليابسة ودور عوامل التعرية. اضافة الى تفهم دور حركات الطبيعة العنيفة كالزلازل واهمية الصخور كسجلات لتاريخ الارض وكان للعلماء العرب اهتمام وولع خاص بالمياه الجوفية وانظمة المياه وحفر القنوات.

وبالتالي فأن العلم العربي لم ينشأ من العدم، بل تزود من علم حوض البحر المتوسط (حضارات العراق – مصر وما نقله عنهما الاغريق والرومان) وعلوم الهند والصين والشرق الاقصى. لذلك علماء العرب هم واسطة العقد في تاريخ العلوم فقد اضافوا وابتكروا واستحدثوا علوما وفنونا لم يمارسها سواهم وبقيت مؤلفاتهم تُدّرس في الجامعات الاوربية لقرون طويلة.

طرح العلامة بن سينا الكثير من الاراء العلمية في مختلف فروع علم الارض حيث ناقش تكون الصخور واشار الى قانون تعاقب الطبقات وتكون الصخور بالترسيب والتبخر في البحار وعلم المعادن. كما طرح اراء دقيقة في تكون الجبال وحصول الزلازل كما كانت له مساهمات فذة في شرح الغلاف الجوي.

اما العلامة البيروني فكان له دور في اغناء العلوم الجيولوجية، حيث اسهم في تثبيت اسس علم قياس الارض حيث قدر محيط الارض وجاء بحساب نصف قطر الارض بمعادلة تعرف بأسمه وناقش ظاهرة المد والجزر واشار الى فكرة الجاذبية الارضية ودوران الارض . كذلك فطن الى دورة المياه في الطبيعة وتكوين الينابيع والعيون وفسر عوامل التعرية وتكوين السهول الرسوبية وله اسهامات بارزة في علم المعادن والاحجار الكريمة حيث قاس وزنها النوعي بدقة كبيرة.

كذلك فقد ناقش اخوان الصفا في القرن العاشر الميلادي اصل الكواكب والارض والمعادن والاحجار الكريمة، واسباب حدوث الزلازل... اما الرازي وجابر بن حيان وعطارد بن محمد الحسيب فقد كانت لهم مساهمات كبيرة في تثبيت بعض الافكار والمشاهدات البيئية الدقيقة. كما اثبت ابو جعفر الطوسي ان الشمس هي مركز المجموعة الشمسية وليس الارض. وكان لزكريا بن محمد القزويني مساهمات في كتابات مهمة عن الفلزات والمعادن والنفط والقير والاحجار. اما الادريسي فكان من اوائل الذين رسموا الخرائط الدقيقة للعالم وتوزيع البحار واليابسة وتحديد مواقع المعادن على الخريطة. كما اهتم العلامة الاسيوطي بتسجيل حوادث الزلازل لفترة طويلة وكانت هذه التسجيلات بداية الاهتمام بالعلوم الزلزالية.

4. تطور علم الارض بمفهومه الحاضر

مرت الارض بأطوار مختلفة قبل ان تصل الى شكلها الحالي. ولعل بداية الملاحظات عن شكل الارض والانهار وفيضاناتها نالت اهتمام البابليون والاغريق 500 سنة ق.م. حيث قاموا بدراسة المظاهر الجيولوجية واعتبروا الارض عبارة عن قرص مسطح تحيطه المياه من كل جانب. ثم تطورت المشاهدات عند الاغريق، فأعتقد افلاطون ان الارض كروية واستنتج ارسطو الحقيقة ذاتها من ملاحظة ظل الارض على سطح القمر عند الخسوف.

في القرن الاول الميلادي، تطورت المشاهدات عند الرومان تبعهم بعد ذلك العرب والمسلمين وتطورت المعلومات عن العلوم الجيولوجية على النحو الذي شرحناه سابقا.

بدا التطور الفعلي للعلوم الطبيعية في اوربا في بدايات القرن الخامس والسادس عشر الميلادي وبداية عصر النهضة الاوربية حيث طرح غاليلو اول افكاره عن دوران الارض حول نفسها وحول الشمس. وبعد الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر الميلادي، برز علماء اخرون من المانيا وبريطانيا وفرنسا وسويسرا ساهموا في اثراء المعلومات الجيولوجية والمناقشات العلمية حول علم تتابع الطبقات وعلم الجيولوجيا التركيبية وعلم المعادن وعلم الصخور. وقد ساعدت هذه الاكتشافات العلمية على خلق ثورة علمية في مجال اكتشاف الثروات الطبيعية واستخراجها وبداية الاستعمار القديم.

لاحقا وتحديدا بعد نهاية الحرب العالمية الثانية، برزت معظم المعلومات الجيولوجية الحديثة على ايدي العديد من العلماء وبدأت تتشعب وتتطور بسبب تطور المختبرات مما ساعد في اجراء الفحوصات الدقيقة لاستنتاج الحسابات الكمية. وبدأ العلم الذي نشأ على شكل وصف عام للظواهر الطبيعية يتحول الى علم كمي له اسسه وروادة.

حاليا ومنذ اواخر الستينات، تشهد العلوم الجيولوجية مراحل متقدمة خاصة بعد بلورة نظرية الصفائح التكتونية التي استندت على معلومات وقياسات ومسوحات كمية دقيقة قادت الى مرحلة جديدة من المفاهيم الجيولوجية الحديثة ومنها الى دراسة الخواص الطبيعية للمجموعة الشمسية كمدخل لدراسة الكون والمجرات.

5. علاقة علم الارض بالعلوم الاساسية

ترتبط العلوم الطبيعية مع بعضها البعض لانها تبحث في موضوع واحد من جوانب مختلفة. مثلا علم الكيمياء له صلة مباشرة بعلم المعادن وعلم الصخور ، كذلك علم الفيزياء يربط بين علم البلورات وعلم المعادن وعلم الجيولوجيا التركيبية. اما علم الحياة فيرتبط بفهم تطور الارض وتاريخها العضوي وعلم الطبقات وما تتضمنه من احفوريات على فترات وحقب زمنية مختلفة. اما علم الرياضيات فله صلة قوية في ادخال المفاهيم الاحصائية والرياضية للحصول على استنتاجات جيولوجية ذات طابع كمي. كذلك علم الفلك يدخل في دراسة علم الارض لانه يساعد على فهم اصل المجموعة الشمسية وتفسير بعض الظواهر الطبيعية المتعلقة بالمجرات والبحوث الكونية.

اما الجغرافية فأن علاقتها بعلم الارض مرتبطة بالفهم المشترك لدراسة شكل الارض وعوامل التعرية وتوزيع القارات والمحيطات. كذلك دراسة علم المناخ القديم مرتبط بدراسة الترسبات الجيولوجية في العصور الجيولوجية السابقة.

اما دراسة العلوم الزراعية فيظهر العلاقة المباشرة بين انواع ومكونات التربة وطبيعة التكوينات الجيولوجية وعوامل التعرية والتي بدورها لعبت دورا اساسيا في تكوين التربة، فالمناطق التي تحوي فيها ترب كلسية ترتبط بوجود تكوينات جيولوجية كلسية وهكذا. وبالنتيجة فأن لعلم الارض ارتباط وثيق بالعلوم الهندسية فمواد البناء واختيار مواقع المنشأت وتحديد الاساسات ومواقع السدود وخزانات المياه يعتمد كليا على تحديد الخلفية الجيولوجية للارض المشيدة عليها.

6. دور علم الارض في المجتمع

ان علم دراسة الارض له تطبيقات عديدة يمكن تلخيصها كالتالي:

- البحث عن الموارد الطبيعية من مياه ومعادن ووقود سائل وصلب واحجار وصخور صناعية.
- نتيجة الزيادة السكانية هناك طلب متزايد على مصادر الطاقة كالنفط والغاز والفحم الحجري والمعادن المشعة مما يتطلب استخدام طرق غير تقليدية كأستخدام اجهزة الاستشعار عن بعد او ما يسمى بوسائل التحسس النائي.
- تقليل المخاطر الناجمة عن الكوارث الطبيعية كالفيضانات والزلازل والبراكين وما ينتج عنها من تلوث الانهار واليابسة والهواء.
- اختيار الاراضي الصالحة للاسكان الحضري والاقليمي والتوزيع السكاني الامثل.
- دراسة سبل تقنين المياه بعد تحديد مصادرها السطحية والجوفية.

جامعة المثـنى

كلية الـهندسـة

قسم الـهندسة المدنية

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل الثاني : المادة والمعادن

1. تعريف المادة

توصل علماء الاغريق الى ان كل مادة بالامكان تقسيمها الى جزيئات اصغر، وهذه الجزيئات يمكن تقسيمها الى جزيئات اصغر منها وهكذا.. الى ان نصل الى جزيئة ذات حجم متناهي في الصغر لا يمكن رؤيته بالعين المجردة ولا يمكن تجزئته اطلقوا عليه اسم الذرة. وبما ان القشرة الارضية عبارة عن صخور فأن الغالبية العظمى من تلك الصخور مكونة من معادن، والمعادن تتألف من ذرات العناصر المختلفة. لاحقاً، تمكن العلماء من فهم تركيب الذرات وشطرها الى اجزاء بحيث ينتج عن هذا الانشطار تولد طاقة هائلة.

2. تعريف الذرة Atom

الذرات هي دقائق متناهية في الصغر، ولتخيل صغرها يمكن القول بأنه اذا وضعنا 40 مليون ذرة جنبا الى جنب على خط واحد سيكون طول ذلك الخط لا يتجاوز السنتمتر الواحد.. تتكون الذرات من ثلاث اجزاء رئيسية وهي: الالكترونات (دقائق ذات شحنة سالبة) والبروتونات (دقائق ذات شحنة موجبة) والنيوترونات (دقائق ذات شحنة متعادلة).

غالبا ماتتألف الذرة من نواة صغيرة تشكل 99,9% من وزن الذرة، وهي عبارة عن مجمع من البروتونات (واحد او اكثر) والنيوترونات (واحد او اكثر عدا ذرة عنصر الهيدروجين التي لا تحتوي على نيوترون) محاطة بمدار واحد او اكثر تشكل اغلفة لنواة الذرة. تدور في هذه المسارات عدد من الالكترونات.

ما يميز اي عنصر عن غيره هو عدد البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة. وبالنتيجة فأن عدد الالكترونات يساوي دائما عدد البروتونات (لـــــماذا ؟).

3. تعريف المعادن Minerals

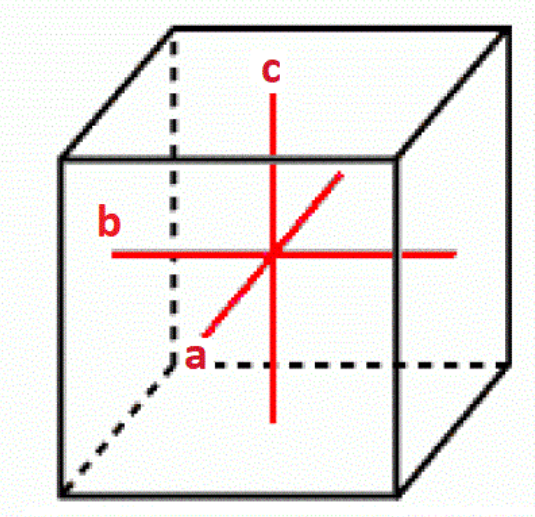
المعدن هو مادة صلبة لاعضوية طبيعية الوجود تتميز بتركيب ذري داخلي (بلوري) يحدده كيفية ترتيب الذرات. ان ارتباط العناصر (او بالاصح ذرات العناصر او العنصر الواحد) ينتج عنه المركبات الكيميائية والجزيئات وبالتالي تكوين المعادن. هذا الارتباط او التفاعل الكيمياوي بين العناصر لا يشمل نواة الذرة بل يشمل فقط تبادل او اعادة توزيع الالكترونات في المدار الخارجي للذرة عن طريق. عملية التوزيع او التبادل تعتمد اولا على عدد الالكترونات وثانيا على الطاقة النسبية للمدارات. لذا اي مادة تصنع في المختبر (اي غير طبيعية) هي ليست معدناً، كما ان اية مادة ليست صلبة (سائلة او غازية) واية مادة عضوية هي ليست معدناً. كما ويجب انطباق الشروط الثلاثة (الترتيب الداخلي للذرات، التركيب الكيمياوي، والصفات الطبيعية) عل اية مادة طبيعية صلبة لنطلق عليها اسم المعدن.

1.3 الشكل البلوري للمعادن Crystal forms of minerals

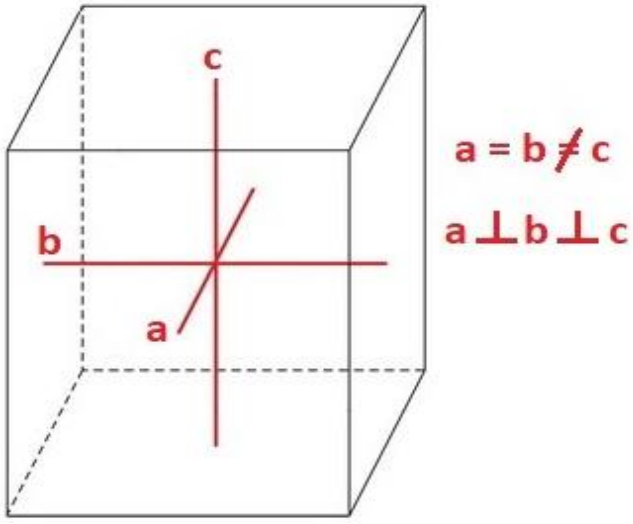
تتبلور جميع المعادن تقريبا وتحت الظروف الطبيعية بأشكال خارجية منتظمة تدعي البلورات Crystals. وهذه البلورات تكون بأشكال هندسية منتظمة محددة بواسطة اوجه مسطحة وزوايا بين هذه السطوح او الاضلاع المكونة لها. اما تركيب البلورة الداخلي فيتألف من مجموعة من الذرات المركبة وفق نظام خاص يختلف من معدن الى آخر.

وبذلك فأن لكل معدن شكله البلوري المميز والذي قُسمت تبعا لاطوال محاورها والزوايا المحصورة بين السطوح المتجاورة للبلورة وكذلك تبعا الى مستويات تماثلها. وهذه الانظمة هي:

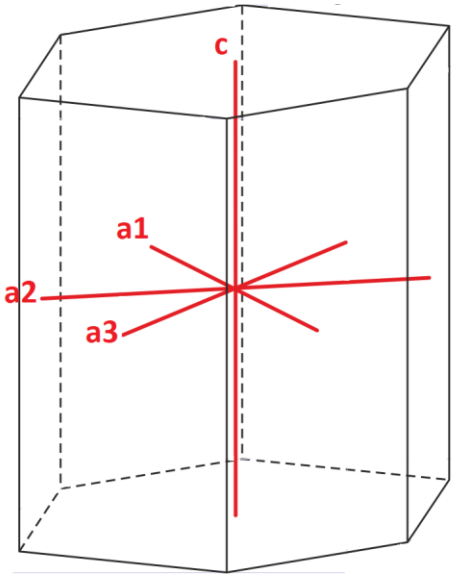
- **النظام المكعب Cubic or Isometric System**: وهو نظام متساوي الابعاد وتحتوي البلورة على ثلاثة محاور بلورية متساوية في الطول ومتعامدة مع بعضها. ومن امثلتها معادن الكالينا والفلورايت والهالايت.



- **النظام الرباعي Tetragonal System**: تحتوي البلورة على ثلاثة محاور متعامدة، اثنان منها افقيان متساويان في الطول والثالث عمودي عليهما وقد يكون اقصر او اطول منهما مثل معدن الزركون والكاستيرايت.



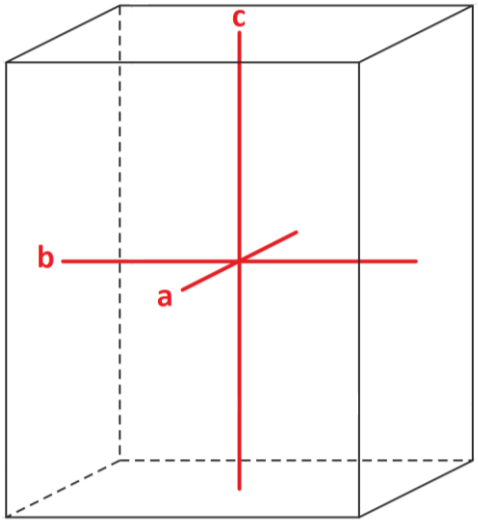
- **النظام السداسي Hexagonal System**: يحتوي على اربعة محاور بلورية، ثلاثة منها افقية ومتساوية وتتقاطع بزاوية مقدارها 120º . اما المحور الرابع فهو عمودي على مستواها ولكنه مختلف في الطول. مثالها معدن الكلسايت ويتفرع عن هذا النظام نظام يعرف بالثلاثي Trigonal وهو يشابه السداسي من حيث المحاور ولكنه يختلف عنه بدرجة التماثل البلوري.



$a1 = a2 = a3 \neq c$

$a1, a2, a3 \perp c$

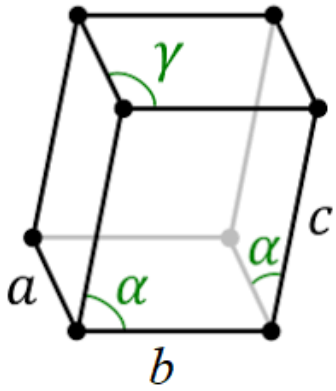
- **النظام المعيني القائم Orthorhombic System: يحتوي على ثلاثة محاور بلورية متعامدة مع بعضها لكنها مختلفة الطول. مثالها معدن التوباز ومعدن الاوليفين.**



$a \neq b \neq c$

$a \perp b \perp c$

- **النظام الاحادي الميل Monoclinic System: تحتوي بلورات هذا النظام على ثلاثة محاور بلورية مختلفة الطول ، اثنان متعامدة وواحد مائل على المستوي الذي يحوي المحورين الاخرين. مثالها معادن الهورنبلند والارثوكليس.**



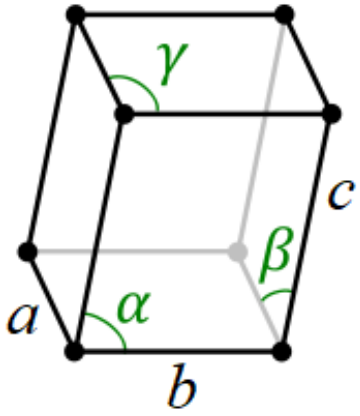
$\alpha \neq 90°$

$\gamma = 90°$

$a \neq b \neq c$

$a \perp b$

- **النظام الثلاثي الميل Triclinic System: يحتوي على ثلاثة محاور غير متعامدة وغير متساوية في الطول. مثالها معادن الميكروكلاين والالبايت.**



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha, \beta, \gamma \neq 90°$$

2.3 التعرف على المعادن Identification of minerals

بما ان معظم المعادن عبارة عن مركبات كيمياوية فأنه من الضروري ان تكون هنالك بعض الطرق الفيزياوية البسيطة التي يمكن من خلالها التعرف على المعدن بصورة سريعة في الحقل من خلال توفر المستلزمات الخاصة بذلك. وان من اهم الصفات الفيزياوية المعتمدة للتعرف على المعادن دون الاستعانة بالاجهزة هي:

1) **لون المعدن Colour: يمكن تمييز المعدن من خلال اللون. هنالك مجموعة لونية واسعة يمكن ان تشير الى لون المعدن بسبب وجود الشوائب. فاللون ناتج من قابلية المعدن على امتصاص اطوال موجية معينة من الضوء وانعكاس ونفاذ البعض الاخر. فالمعادن الغامقة تمتص معظم الضوء الساقط عليها بينما المعادن الحمراء تعكس وتنفذ بصورة رئيسية الجزء الاحمر من الطيف وتمتص المتبقي. لذا يكون اللون الذي نشاهده هو الجزء الغير ممتص من الطيف مثلا الكوارتز الذي له الوان مختلفة بحسب نسبة الشوائب فيه. كما ان هناك معادن لها الوان ثابتة مثل الكالينا رمادية اللون والكبريت اصفر اللون والاليفين اخضر او زيتوني.**
2) **شفافية المعدن Transparency: وهي درجة او قدرة نفاذ الضوء من المعدن فتكون المعادن اما شفافة او نصف شفافة او معتمة لا تسمح بنفاذ الضوء.**
3) **المخدش Streak: يشير الى وصف لون المسحوق الخاص بالمعدن وتستخدم عادة قطعة من الخزف (البورسيلين) ويجب ان يكون المعدن اقل صلابة من صلابة القطعة الخزفية كي يظهر لون المسحوق. مثلا الماكينيتايت وهو معدن اسود اللون مخدشه يكون اسود ايضا. اما لون مخدش الكوارتز فغالبا مايكون لونه ابيض ويعود سبب ذلك تعرضه الى ظروف خارجية ساهمت في تأكسد واختزال المعدن وبالتالي تغيير لونه الخارجي.**
4) **البريق Lustre: هذه الخاصية ذات علاقة بالمظهر الخارجي للمعدن والمتمثلة بالانعكاسية ومعامل الانكسار فهي تمثل مظهر السطح الخارجي للمعدن عندما يعكس الضوء الساقط. ويقسم الى عدة اقسام:**
   - ✓ **بريق فلزي : له انعكاسية عالية مثل الكالينا والماكنيتايت.**
   - ✓ **بريق شبه فلزي : ومثالها الكبريتيدات والهيميتايت.**

- ✓ **بريق لافلزي : ويشمل المعادن اللافلزية ويكون على انواع ايضا:**
  - **بريق صلب مثل برق الماس.**
  - **بريق زجاجي مثل الكوارتز والكالسايت.**
  - **بريق لؤلوئي مثل المعادن ذات التشققات كالميكا والتالك.**
  - **بريق حريري كالمعادن ذات التراكيب الليفية ومنها الجبس.**
  - **بريق معتم او ارضي ذو انعكاسية معدومة مثل الكاؤولين.**

5) **التشقق والتكسر Cleavage and Fracture: هو قابلية المعدن للانقسام في اتجاهات مختلفة مما ينتج عنه سطوح ملساء موازية لأوجه معينة في الشكل البلوري للمعدن وتسمى هذه بمستويات التشقق وتكون ضعيفة. وقد يكون في المعدن اكثر من اتجاه لمستويات التشقق كما هو الحال في الهالايت (3 اتجاهات) او الفلسبار (اتجاهين) او المايكا (اتجاه واحد) او قد يكون معدوماً كما في الكوارتز. اما درجة التشقق فقد تكون كاملة Perfect او جيدة Good او غير كاملة Imperfect. اما التكسر Fracture فيطلق على اي تكسر عدا التشقق وتكون السطوح غير ملساء لكونها غير موازية لاوجه البلورة. فقد يكون الكسر مستوياً او منحنياً او خشناً او محارياً او شعاعياً. مثلا الكوارتز له تكسر محاري.**
6) **الصلابة Hardness: تعد من اهم خصائص المعدن الفيزياوية وتمثل قياس مقاومة المعدن لعملية الخدش حيث تكون ذات صلة وثيقة بالتركيب البلوري للمعدن. يتم قياس صلابة المعدن عن طريق خدشه بمعدن اخر ذو صلابة مختلفة. فالمعدن المخدوش يكون اقل صلابة من المعدن الخادش. وضع العالم Moh مقياسا لقياس صلابة المعدن، سمي لحقا بأسمه Moh's scale of hardness وقد استخدم عشرة معادن ثابتة رتبها تصاعديا من الاقل صلابة الى الاكثر صلابة وهي كما يلي: تالك 1، جبس 2، كالسايت 3، فلورايت 4، اباتايت 5، اورثوكليس 6، كوارتز 7، توباز 8، كورانـدوم 9، الماس 10. فالمعدن الذي يخدش الكالسايت ولا يخدش الفلورايت تكون صلابته بين 3 – 4 وهكذا. تعتبر الصلابة مهمة في الكثير من الاعمال الهندسية كالحفر وعمليات صقل حجارة الطرق.**
7) **الوزن النوعي Specific Gravity: هو نسبة وزن المعدن في الهواء الى وزن نفس الحجم في الماء ويلعب دورا مهما في تقرير الخوص الفيزياوية والميكانيكية للصخور خاصة عندما يكون حجم الفراغات في المادة الصخرية واطنا. ويتراوح الوزن النوعي للمعادن بين 1 – 23 وان المعدل العام هو 2.6 حيث ان الوزن النوعي للمعدن يعتمد على العناصر المشتركة في تركيبه الكيمياوي وليس له علاقة بالصلابة.**

وهناك صفات اخرى تساعد في التعرف على نوع المعدن منها:

8) **درجة التماسك**
9) **المذاق**
10) **الملمس**
11) **الخواص المغناطيسية**
12) **الخواص المجهرية**

وفي حالة صعوبة تمييز المعدن بالطرق الفيزياوية فلابد من اجراء التحاليل الكيمياوية.

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

الفصل الثالث : الصخور

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل الثالث : الصخور وانواعها

1. تعريف الصخور Rocks

تعرف الصخرة على انها خليط طبيعي (Aggregates) من معدن واحد او اكثر وبأحجام مختلفة ترتبط مع بعضها بطرق مختلفة. وتعتبر الصخور والمعادن من المكونات الاساسية للقشرة الارضية حيث يسمى العلم الذي يهتم بدراستها بعلم الصخور Petrology والذي يتضمن دراسة اصلها وتكوينها وخواصها الفيزياوية وطبيعة التغيرات الحاصلة عليها بفعل العمليات الجيولوجية المختلفة. تُصنّف الصخور حسب اصلها Genetic Classification الى ثلاثة اقسام رئيسية:

1) الصخور النارية Igneous Rocks: وهي الصخور التي تصلبت من الصهير البركاني Magma.
2) الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks: وهي الصخور المترسبة من صخور قديمة سواء كانت نارية او متحولة او من صخور رسوبية قديمة.
3) الصخور المتحولة Metamorphic Rocks: وهي الصخور المتكونة من صخور اخرى بفعل عملية التحول من ضغط وحرارة عاليين وبوجود المحاليل الكيماوية.

2. الصخور النارية Igneous Rocks

تعتبر هذه الصخور المصدر الاساس لباقي صخور القشرة الارضية لكونها تغطي حوالي 25% من صخور سطح الارض ولكنها في الواقع تشكل 95% من صخور القشرة الارضية.

1.2. تكوين الصخور النارية Formation of Igneous Rocks

يمكن تقسيم الصخور النارية حسب طريقة تكوّنها الى قسمين أساسيين وهما:

أ) <u>الصخور السطحية (البركانية) Extrusive or Volcanic Rocks</u>

يشمل هذا النوع من الصخور الحبيبات والصخور الناعمة المتصلبة في الجزء الاعلى من القشرة الارضية والذي تكوّن معظمها من القذف البركاني. تندفع المادة السائلة او الصهير (Magma) التي تكوّنت في جبة الارض او في اعماق القشرة الارضية الى سطح الارض عن طريق الشقوق الموجودة بين الطبقات الصخرية او عن طريق فوهات البراكين نتيجة التسخين بالنشاط الاشعاعي او التسخين بالاحتكاك بالاضافة الى كون الصهير اقل كثافةً من الصخور المجاورة فيندفع دوماً الى الاعلى. وبفقدان الغازات والابخرة سيتحول الصهير الى مايعرف بالـ (Lava) والذي سيمثل الصهير السائل على سطح الارض. وعند تصلب الـ (Lava) ستتكون صخور ذات معادن غير حاوية على جزيئات الماء في تركيبها الكيمياوي لتبخره عند ظهورها على سطح الارض.

الصهير (Magma) = السائل البركاني + المواد المتطايرة (غازات وأبخرة)

الصهير (Lava) = السائل البركاني

كذلك نجد ان الصهير ذو درجة الحرارة العالية يصبح فجأة بتماس مباشر مع وسط ذو درجة حرارة منخفضة وتحت ضغط واطئ ايضاً. لذا سيفقد حرارته بسرعة ويتصلب حسب سرعة التبريد وعليه فأن البلورات التي بدأت بالتبلور ليس لديها الوقت الكافي للنمو، لذا فأن نسيجها Texture سيكون مؤلفاً من بلورات ناعمة ذات حجوم دقيقة

جدا Microcrystalline. ويدعى هذا النوع من النسيج بالنسيج الناعم Fine-grained Texture او النسيج الافانيتي Aphanitic Texture ومن امثلة هذا النوع صخور الرايولايت والاندسايت والبازلت والداسايت. اما عندما تكون سرعة التبريد كبيرة جدا بحيث لا يتسع الوقت لاي نمو بلوري خاصة اذا لم يتبلور الصهير قبل اندفاعه الى الاعلى، في هذه الحالة يكون النسيج زجاجي Glassy Texture ومن امثلته صخور الاوبسيديان والبيومس.

ب) الصخور الجوفية (البلوتونية) Intrusive or Plutonic Rocks

وهي الصخور المتبلورة والمتكونة من تصلب الصهير (Magma) في اعماق القشرة الارضية وتكون معادنها حاوية على الماء لعدم فقدان الصهير للغازات والابخرة. وهذه الصخور تكون ذات تكوين معدني مشابه للصخور البركانية السطحية الا انها تختلف من حيث الحجم. ان الصهير الذي يؤدي الى تكوّن الصخور الجوفية التي تتبلور على اعماق كبيرة سيبرد ببطئ وتحت ضغط عالٍ. لذلك فأن المعدن الذي يبدأ بالتبلور من الصهير سيستمر بالنمو لوقت طويل ويكون حجمه كبيراً وسيكون النسيج خشناً لذلك يعُرف بالنسيج الحُبيبي Granular Texture. ومن امثلة هذه النوع من الصخور هي الكرانيت والكرانودايوريت والدايوريت والكابرو والبريودوتايت. كذلك وجد ان الضغط العالي بوجود الماء (ضغط بخار الماء) يخفض درجة التصلب التام للصهير ودرجة انصهار الصخور. فمثلا نجد ان الكرانيت يتصلب بدرجة حرارة حوالي 700 درجة مئوية تحت الضغط العالي اما مثيله البركاني الرايولايت فيتصلب بدرجة حرارة 900 درجة مئوية. كذلك صخور الكابرو تتصلب وتتبلور بدرجة حرارة 900 درجة مئوية في حين يتصلب مثيله البركاني البازلت بدرجة حرارة 1100 درجة مئوية.

احياناً تتكون بلورات كبيرة وبلورات صغيرة او زجاجية معاً وتسمى الكبيرة منها التي تتكون قبل اندفاع الصهير بالـ Phenocrysts اما الصغيرة فتسمى بالارضية Groundmass. وعندئذ يسمى هذا النسيج بالنسيج البورفيري Porphyritic Texture ومثالها صخور الرايولايت والاندسايت والتي تكون ايضا ذات نسيج افانيتي.

2.2. اشكال تواجد الصخور النارية Types of Igneous Rocks

أ) الصخور السطحية (البركانية) Extrusive or Volcanic Rocks

تتواجد الصخور البركانية على هيئة اجسام صفائحية كبيرة تنتج من تدفق وجريان الصهير على سطح الارض وتكون غير منتظمة الشكل وتعرف بالـ Lava. فقد يكون سطح الـ Lava العلوي مليئاً بالفجوات نتيجة هروب الغازات مكونةً مايعرف بالـ Scoria. وقد تحتوي على نتوءات طويلة ومنحنية تشبه الحبال وتسمى حينها بالحبلية Ropy. او قد تكون مميزة بشكل كتل غير منتظمة الشكل وتدعى عندها بالكتلية Blocky. وقد تتصف تدفقات الـ Lava بوجود تشققات افقية او عمودية ناتجة عن تقلصها بسبب التبريد. وقد تكون بهيئة اعمدة تسمى بالفواصل العمودية Columnar Joints. او قد تتخذ اشكال الوسائد عندما تنساب تحت الماء Pillows.

ب) الصخور الجوفية (البلوتونية) Intrusive or Plutonic Rocks

تصنف اشكال تواجد الصخور الجوفية حسب عمقها الى قسمين:

اولا: صخور متوسطة العمق Hypabyssal Rocks

و هي الصخور التي تكونت في مكان متوسط العمق ما بين الصخور الجوفية العميقة والصخور البركانية السطحية وتكون حبيباتها دقيقة الى متوسطة وتشمل:

1. السدود الأفقية Sills وهي اجسام صفائحية تكون موازية الطبقات الصخرية التي تقتحمها و تكون ذات سمك كبير وامتدادات جانبية كبيرة وتكون قاعدية ذات نسيج خشن وقد تكون قليلة السمك دقيقة النسيج.
2. السدود العمودية Dikes وهي اجسام صفائحية ايضا تكون قاطعة للطبقات الصخرية وفي الغالب يكون نسيجها دقيق.

ثانيا: الصخور الجوفية العميقة Plutonic Rocks

و هي الأشكال التي تتكون في أعماق كبيرة تحت سطح الارض بدرجات حرارة وضغط عاليين و فقدت حرارتها ببطء، فنتج عنها صخور ذات حبيبات خشنة ومن امثلتها:

1. الكتل الجرسية (اللاكوليث Laccolith): وهي اجسام صفائحية تشبه السدود الافقية و لكن الصهير فيها يكون أقل حرية في الحركة من ما يجعلها محدبة من الأعلى وذات قاعده مستوية.
2. الفاكوليث Phacolith: وهي اجسام عدسية الشكل ومنحنية بموازاة الطبقات الصخرية للطيات.
3. الكتل الوعائية (اللوبوليث Lopolith): وهي اجسام صفائحية او عدسية كبيره نسبيا و يكون سطحها الاعلى و الاسفل محدباً الى الاعلى. ويعزى شكلها للانخفاض التدريجي للصخور التي تحتها نتيجة الضغط الذي أحدثته هذه الاجسام.
4. الباثوليث Batholith: وهي اجسام ضخمة جدا تتكون من صخور حامضية من الكرانيت و نظر لضخامتها فأن الاراء منقسمة حول أصلها.

3.2. تصنيف الصخور النارية Classification of Igneous Rocks

تصنف الصخور النارية حسب الخواص التالية:

اولاً: حسب نمط التكوين Mode of formation

- صخور بركانية سطحية: وهي ذات حبيبات ناعمة ومن امثلتها صخور البازلت والرايولايت والداسايت والاندسايت. وقد تكون ذات نسيج زجاجي مثل صخره الاوبسيديان او تكون ذات نسيج بوريفيري مثل صخور الرايولايت والاندسايت البوريفيرية.
- صخور جوفية: وتكون ذات حبيبات متوسطة إلى خشنة حسب العمق الذي تكوّنت فيه اي باعماق متوسطة او كبيرة ومن أمثلتها صخور الدايورايت والكرانيت والكابرو.

ثانياً: حسب النسيج الصخري Texture of rock

وهو يمثل شكل وحجم بلورات المعادن المكونة للصخور النارية بعد تصلبها من الصهير. ويعتمد النسيج الصخري على عملية التبريد فيما اذا كان فجائيا أو تدريجيا. وعلى هذا الأساس فقد يكون النسيج ناعماً او خشناً او زجاجياً أو بوريفيرياً. ويوضح الجدول رقم (3 – 1) علاقة حجم الحبيبات بمعدل البرودة.

جدول رقم (3 – 1) علاقة حجم الحبيبات بمعدل التبريد

حجم الحبيبات Grain size	الابعاد Dimensions	معدل التبريد Cooling rate
خشن جدا	اكبر من 30 ملم	بطئ جدا
خشن	اكبر من 5 ملم	بطئ
وسط	من 1 الى 5 ملم	متوسط
دقيق	اقل من 1 ملم	سريع
دقيق جدا	البلورة لا ترى بالعين المجردة	سريع جدا
زجاجي	عديم التبلور	بسرعة شديدة جدا
ذو مسامات وفجوات	عديم التبلور	فجوات

ثالثاً: حسب التكوين المعدني Mineralogical composition

تقسم المعادن المكونة للصخور النارية الى قسمين:

أ) المعادن الرئيسية: وتشمل المعادن السليكية وقد تكون حامضية او قاعدية.

- ✓ **صخور حامضية Acidic (سالبة مكونة من سليكا وألومينا) وتكون فاتحة اللون لكثرة السليكا. والمعادن المكونة لها هي الكوارتز والاورثوكليس والبلاجيوكليس والموسكوفايت.**
- ✓ **صخور قاعدية Basic (سيماتية مكونة من سليكا ومغنيسيا) وتكون غامقة اللون لقلة السليكا. والمعادن المكونة لها هي البيوتايت والبيروكسين والامينبول وهورنبلند والاوليفين.**

ب) المعادن الثانوية: وهي المعادن التي توجد بنسب ضئيلة ولا تؤثر على التكوين الاساسي للصخرة. ويوضح الجدول رقم (3 – 2) تصنيف الصخور النارية حسب التكوين المعدني.

جدول رقم (3 – 2) تصنيف الصخور النارية حسب التكوين المعدني

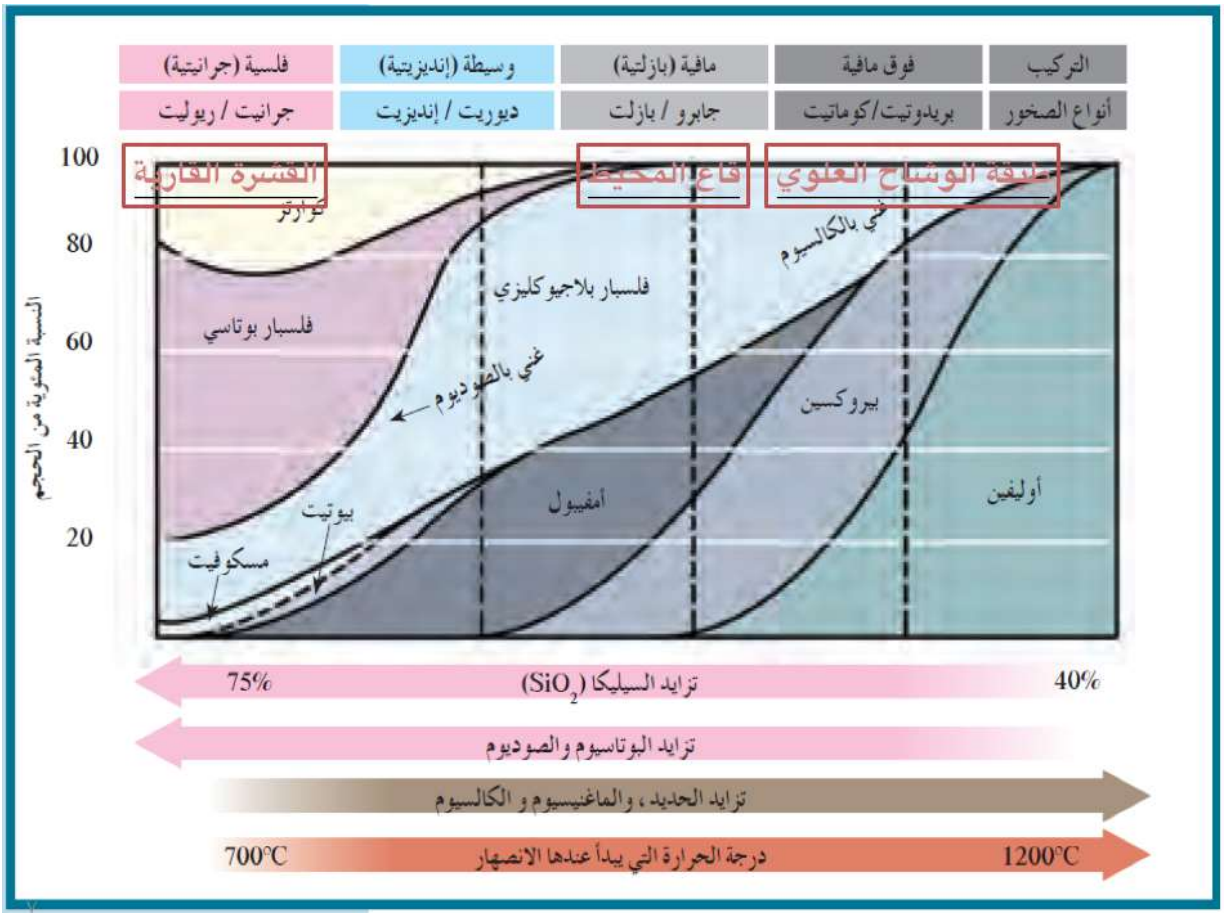
فاتحة اللون وذات وزن نوعي اقل ← **غامقة اللون وذات وزن نوعي عالي**

نمط التكوين Mode of formation	المعادن المكونة / النسيج الصخري	فلدسبار وكوارتز	فلدسبار (كوارتز ومعادن حديدية قليلة)	فلدسبار ومعادن حديدية (بدون كوارتز)	معادن حديدية (بدون فلدسبار وكوارتز)
صخور سطحية (بركانية)	فتات بركاني	غبار بركاني بريشيا بركانية			
	زجاجي	اوبسيديان بيومس (ذو فجوات)		بازلت زجاجي	
	افانيتي (ناعم)	رايولايت داسايت	اندسايت	بازلت	
صخور جوفية	خشن (حُبيبي)	كرانيت كرانودايورايت سيانايت	دايورايت	دوليرايت دايابيس كابرو	بيريدوتايت بيروكسينايت سيربينكينايت

إنعدام المعادن الحديدية مثل Fe, Mg ← **إنعدام الكوارتز**

رابعاً: حسب التكوين الكيمياوي Chemical composition

يعتمد التركيب الكيمياوي للصخور النارية على المكونات الاصلية للصهير. فإذا كان غنياً بالسليكا نتجت صخور ذات نسبة عالية من المعادن السليكية والعكس صحيح. لذا يمكن اعتماد نسبة السليكا ومعادن اخرى كالبوتاسيوم والمغنيسيوم والحديد كأساس في تصنيف الصخور النارية كما موضح في الشكل (3 – 1) ادناه.



شكل رقم (3 – 1) تصنيف الصخور النارية حسب نسبة السليكا والمعادن الاخرى

3. الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

وهي الصخور التي تكوّنت بفعل عمليات التعرية والتجوية التي ساهمت في تفتيت ونقل المواد الصخرية من مكان الى اخر. في بداية الامر، تتكون فجوات ومسامات كبيرة بين المواد المترسبة وبمرور الزمن تتراكم مواد مترسبة اخرى فوقها مما يؤدي الى تلاشي تلك الفجوات او المسامات وتماسك المادة الصخرية الجديدة مكونة نوعا اخر من الصخور لا تشبه الصخور الاصلية تسمى بالصخور الرسوبية.

1.3 مراحل تكوين الصخور الرسوبية Formation of Sedimentary Rocks

تمر عملية تكوين الصخور الرسوبية بثلاثة مراحل أساسية وهي كالتالي:

اولاً: التجوية والتعرية Weathering and Erosion

التجوية هي مجموعة من العمليات الفيزياوية والكيمياوية التي تساعد على تكسير وتفتيت الصخور الاصلية كالمياه والحرارة. فمثلا، حركة المياه على سطح الارض او انجمادها داخل التربة هي احدى عمليات التجوية التي تُؤثر او تُبدّل بكيمياوية وفيزياوية الصخور وتساهم لاحقاً في تكوين المعادن والرواسب كالالمنيوم والطين. وبعد عملية التجوية، فأن فتات الصخور المتكسرة تنتقل عن طريق الرياح او المياه او الثلاجات لتترسب في مكان اخر. ان العملية بأكملها من بدايتها (التجوية Weathering) ولغاية ترّسب الفتات الصخري تسمى بالـ (التعرية Erosion).

ثانياً: الانتقال Transportation

وهي عملية نقل المواد الصخرية المتعرضة للتجوية الى مكان اخر عندما تكون الظروف مناسبة لترسيبها. تعتمد طريقة النقل على حجم الدقائق وطاقة العامل الناقل. وبصورة عامة فأن المواد الدقيقة نسبيا تنتقل بواسطة الرياح او المياه او الثلاجات على هيئة عوالق، اما الكبيرة منها فتنتقل بواسطة الدحرجة او القفز. وكلما كانت طاقة العامل الناقل عالية يكون حجم الدقائق المنقولة اكبر والعكس صحيح.

ثالثاً: الترسيب Deposition

وهي عملية ترسيب المواد الصخرية التي تعرضت الى عمليات التجوية والتعرية في احواض الترسيب بعد ان تقل طاقة العامل الناقل لها (الرياح او المياه او الثلاجات). ان هذه المواد المترسبة تترك بينها فجوات ومسامات وبمرور الزمن تتراكم فوقها مواد اخرى جديدة مما يؤدي الى نقصان هذا الفجوات بفعل ثقل المواد الجديدة. او قد تترسب بعض المواد اللاصقة في الفجوات ومن ثم تتماسك المواد الصخرية فيما بينها مكونةً الصخور الرسوبية. وبالتالي تكون عمليات ترسيب الصخور الرسوبية على نوعين:

1. الترسبات الميكانيكية Mechanical Deposits: ان معظم الصخور الرسوبية تتكون بالترسيب الميكانيكي. وتشمل المعادن والصخور المشتقة من التجوية والتي تنتقل اخيرا الى حوض الترسيب (غالباً مايكون البحر) وتكون بشكل طين وغرين ورمال وحصى. اما نسيج هذه الترسبات فيكون قطع صخرية خشنة وصغيرة ويسمى بالنسيج الفتاتي Clastic (Detrital) texture.
2. الترسبات الكيمياوية والعضوية Organic and Chemical Deposits: وهي التي تتكون كمواد تترسب من المحاليل في حوض الترسيب نتيجة الفعاليات الكيمياوية والبيوكيمياوية. وللترسبات الكيمياوية نسيج بلوري Crystalline texture اي عبارة عن بلورات متكونة من المحاليل المشبعة. اما عناصر نسيج الصخور

الرسوبية فهي الدقائق grains والارضية matrix والمادة الرابطة cement التي تربط بين الدقائق والارضية.

2.3 الصفات العامة للصخور الرسوبية Characteristics of Sedimentary Rocks

تتميز الصخور الرسوبية بالصفات التالية:

- غالبا ما تكون مرتبة بهيئة طبقات تظهر فيها خطوط التطبق نظرا لتوقف عمليات الترسيب.
- تحوي على متحجرات وهي عبارة عن بقايا حيوانية او نباتية وبعضها يتكون كليا منها كالفحم.
- تكون ذات سطوح ملساء بسبب تأثرها بعمليات التجوية والتعرية.
- غالبا ما تكون مسامية وهذا ما يجعلها مهمة جدا في تواجد وتوزيع المياه الجوفية والنفط والغاز الطبيعي.
- تكثر في التصدعات والتشققات والتكهفات والقنوات الجوفية. ولهذه الصفات اهمية كبيرة عند اقامة المشاريع الهندسية وذلك لتأثيرها على سلامة وإستقرارية الابنية المشيدة عليها.

3.3 تنوّع الصخور الرسوبية Variety of Sedimentary Rocks

يعتمد تنوّع الصخور الرسوبية على ثلاثة عوامل رئيسية:

اولاً: نوع المادة الصخرية الاصلية المعّرضة لعمليات التجوية والتعرية: فمثلاً التجوية الميكانيكية للحجر الرملي تنتج صخوراً رملية، اما التجوية الكيمياوية للصخور الكلسية تعطي صخوراً كلسية. بينما التجوية الميكانيكية والكيمياوية للصخور النارية والمتحولة ينتج عنها معادن جديدة وصخوراً جديدة تختلف كلياً عن الاصلية.

ثانياً: طريقة نقل المواد المتعرضة للتجوية: حيث يتم نقل المواد المتعرضة للتجوية والتعرية بطرق مختلفة اما عن طريق الرياح و المياه وبالتالي ستختلف الرسوبيات المتكونة ومن ثم صخورها.

ثالثاً: بيئة الترسيب حيث يكون لهذا العامل تأثير كبير على نوع الصخور الرسوبية الناتجة. هنالك ثلاث بيئات ترسيبية رئيسية يمكن ايجازها كما موضح في الشكل رقم (3 – 2).

شكل رقم (3 – 2) انواع بيئات الترسيب.

4.3 تراكيب الصخور الرسوبية Structures of Sedimentary Rocks

للصخور الرسوبية وخاصة الفتاتية Clastic منها تراكيب عديدة منها:

أ: التطبق Stratification or bedding

تطلق هذه الميزة على الصخور الرسوبية لكونها مرتبة بهيئة طبقات تظهر فيها خطوط التطبق وتحصل بسبب التوقف المؤقت في الترسيب او بسبب تغيرات في تكوين الطبقة نفسها. ويتراوح سمك الطبقات بين 1 سم الى عدة امتار.

ب: الشقوق الطينية Mud cracks

بعد مرور فترة زمنية على ترسب دقائق الغرين Silt والطين Clay المشبعة بالماء، تبدأ هذه الرواسب بالتقلص والانكماش بسبب فقدان الماء بالتبخر ونتيجة لذلك تتشقق وغالباً ماتكون خماسية الاضلاع .

ج: التموجات Ripple marks

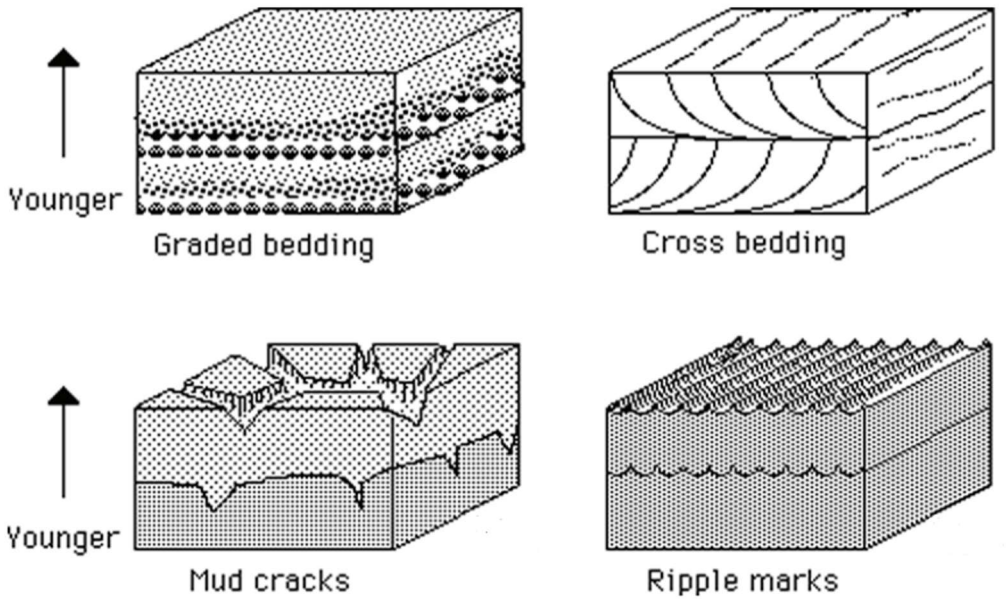
بسبب حركة المياه بالقرب من السواحل البحرية او جوانب الانهار تتكون التموجات. وتكون متناظرة على السواحل البحرية بسبب حركة مياه البحر وعودته مرة ثانية، اما على جوانب النهر فتكون غير متناظرة بسبب حركة مياه النهر المستمرة ذات الاتجاه الواحد.

د: التطبق المتقاطع Cross bedding

تكثر الحفر والتعرجات في قنوات الانهر ونتيجة لمرور تيارات المياه بها ستقل سرعته وتترسب الدقائق التي يحملها النهر في القاع او قد يسحبها الى الاعلى على جدران الانخفاضات الصخرية. ونتيجة لاستمرارية الحركة تترسب الدقائق بصورة موازية فيما بينها وبزاوية مع سطح الماء مكونة مايشبه الطبقة الواحدة تلو الاخرى والمقطوعة بمستوى الطبقة الاصلي وتسمى هذه الظاهرة بالتطبق المتخالف او المتقاطع.

هـ: التطبق المتدرج Graded bedding

وهو يمثل ترسيب الدقائق الخشنة الى الاسفل والناعمة الى الاعلى بحسب سرعة الرياح او المياه الناقلة. بمعنى عندما تقل سرعة العامل الناقل ستترسب الدقائق الخشنة اولا ثم تليها الاصغر وهكذا.



شكل رقم (3 – 3) اشكال تراكيب الصخور الرسوبية.

5.3 تصنيف الصخور الرسوبية Classification of Sedimentary Rocks

تُصنّف الصخور الرسوبية الى ثلاثة انواع رئيسية اعتماداً على طرق ترسيبها وهي كالآتي:

اولاً: الصخور الرسوبية الفتاتية (الميكانيكية) Clastic (Mechanical) Sedimentary Rocks

وهي الصخور التي تكوّنت من تفتيت الصخور ميكانيكياً ثم نُقلت حبيباتها بواسطة الرياح او المياه وترسبت فيما بعد على هيئة حصى او رمال او اطيان. وقد تترسب هذه الحبيبات في اماكنها او قريباً منها او قد تنتقل الى مسافات بعيدة. وبعد تماسك وتلاحم هذه الرواسب بفعل المواد رابطة (مثل السيلكا او كاربونات الكالسيوم او اكاسيد الحديد) او بفعل الضغط المسلط عليها، فأن الصخور الناتجة تدعى بالصخور الفتاتية. الجدول رقم (3 – 3) يُستخدم من قبل علماء الجيولوجيا لغرض تمييز الصخور الرسوبية الفتاتية. اما المهندس المدني فيستخدم الجدول رقم (3 – 4) او مايسمى بمقياس اتربرج Atterberg Scale والذي يعتمد حجم الحبيبات المترسبة بشكل مفصّل اكثر.

جدول رقم (3 – 3) تدّرج حبيبات الصخور الرسوبية حسب مكوناتها وحجم الحبيبات

اسم الصخرة Rock name	الرسوبيات Sediments	التركيب المعدني Composition	حجم الحبيبات Grain size
متكتلات Conglomerate بريشيا Breccia	حصى Gravel	مكونة من اي قطع صخرية كوارتز ، صوان	خشنة اكبر من 2.00 ملم Coarse grained
حجر رملي Sandstone اركوس Arkos	رمل Sand	كوارتز مع شوائب قليلة كوارتز مع 25% فلدسبار	متوسطة (2.00 – 0.06) ملم Medium grained
صخور غرينية Siltstone	غرين Silt	كوارتز ومعادن طينية	ناعمة (0.06 – 0.004) ملم Fine grained
طفل Shale حجر طيني Claystone	طين Clay & Mud	معادن طينية ومايكا	ناعمة جدا اقل من 0.004 ملم Very fine grained

جدول رقم (3 – 4) تدّرج حبيبات الصخور الرسوبية حسب مقياس اتربرج Atterberg Scale

النوع والدرجة		حجم الحبيبات Grain size
الحصى Gravel		اكبر من 2.0 ملم
الرمل Sand	الخشن	من 0.6 الى 2.0 ملم
	المتوسط	من 0.2 الى 0.6 ملم
	الناعم	من 0.06 الى 0.2 ملم
الغرين Silt	الخشن	من 0.06 الى 0.02 ملم
	المتوسط	من 0.02 الى 0.006 ملم
	الناعم	من 0.006 الى 0.002 ملم
الطين Clay		اقل من 0.002 ملم

ثانياً: الصخور الرسوبية الكيمياوية Chemical Sedimentary Rocks

تتشكل هذه الصخور من المحاليل المائية بسبب عمليات التجوية الكيمياوية للصخور الاصلية والتي ستنتقل حبيباتها من اماكن نشوئها الى بيئات مائية بعد تحللها. وبعد عمليات التبخر والترسيب تتكون رواسب كيمياوية والتي تتحول بعد فترة زمنية الى صخور رسوبية. الجدول رقم (3 – 5) يوضح تصنيفاً للصخور الرسوبية الكيمياوية.

جدول رقم (3 – 5) تصنيف الصخور الرسوبية الكيمياوية.

ت	الصفة المميزة للرواسب	التركيب الكيمياوي	انواع الصخور الناتجة
1	رواسب كلسية Calcareous deposits	الكالسايت $CaCO_3$ الدولومايت $CaMg(CO_3)_2$	الصخور الجيرية (الكلسية) Limestone الدولومايت Dolomite
2	رواسب ملحية Evaporites	كلوريدات، كبريتات، كاربونات، نترات	صخور جبسية Gypsum ملح صخري Salt rock
3	رواسب سليكية Siliceous deposits	سليكا SiO_2	الجيرت Chert الصوان Flint
4	رواسب حديدية Ferruginous deposits	اكاسيد وهيدروكسيدات الحديد	خامات الحديد Iron Ores

ثالثاً: الصخور الرسوبية العضوية Organic Sedimentary Rocks

تتكون هذه الصخور نتيجة تراكم المواد العضوية وبقايا الاحياء الحيوانية او النباتية. الجدول رقم (3 – 6) يوضح تصنيفاً للصخور الرسوبية العضوية.

جدول رقم (3 – 6) تصنيف الصخور الرسوبية العضوية.

ت	الصفة المميزة للرواسب	التركيب الرئيسي للرواسب	انواع الصخور الناتجة
1	رواسب كلسية Calcareous deposits	قطع المحار وهياكل بعض الحيوانات البحرية والمرجانية	صخور جيرية عضوية
2	رواسب فوسفاتية Phosphatic deposits	عظام الحيوانات الضخمة	الفوسفات بخاماتها المختلفة
3	رواسب كاربونية Carbonaceous deposits	اندثار الغابات وتفحمها وانغمار النباتات	اللجنايت ، الفحم ، الانثراسايت
4	رواسب سليكية Siliceous deposits	الاسفنج البحري طحالب الدايتوم	صخور سليكية عضوية كالدياتوم والصخور الاسفنجية
5	رواسب حديدية Ferruginous deposits	رواسب الحديد المختلفة	الصخور الحديدية

4. الصخور المتحـوّلـة Metamorphic Rocks

سميت بالصخور المتحوّلة لكونها تكوّنت تحت تأثير عمليات شديدة كحرارة وضغط عاليين في باطن الارض من صخور نارية او رسوبية قديمة او حتى متحوّلة قديمة. وتسمى عملية التحوّل هذه بالـ Metamorphism. ومن الجدير بالذكر هنا، ان عمليات التحوّل لا تشمل عمليات التجوية والتعرية لانها تجري تحت درجة حرارة وضغط واطئين.

ان عملية التحوّل تمثل التغيير المعدني والتركيبي والنسيجي الذي يطرأ على صخرة صلبة نتيجة الظروف الفيزياوية والكيمياوية والتي تجري ضمن نطاق عمليات التعرية والتجوية اي بحدود الاعماق التي لاتزيد على 1 كم. وعليه فأن تأثيرات عملية التحوّل تشتمل على:

- ✓ اعادة ترتيب الحبيبات المعدنية او تشويهها.
- ✓ اعادة تبلور المعادن الاصلية الى بلورات اكبر.
- ✓ اعادة التركيب الكيمياوي ونمو معادن جديدة.

1.4 عوامل التحوّل Factors affecting Metamorphism

يحصل التحوّل بسبب ثلاثة عوامل رئيسية يمكن تلخيصها كالتالي:

أ) درجة الحرارة: ترتفع درجة الحرارة مع العمق بمعدل 30 درجة مئوية لكل 1 كم او بسبب قرب الاجسام النارية. وتقدر درجات الحرارة التي تجري تحتها عمليات التحوّل مابين 200 – 750 درجة مئوية وتكون اعلى من ذلك في حالة قربها من الاجسام النارية.

ب) الضغط: يزداد الضغط في اعماق الارض بسبب زيادة سمك الطبقات الصخرية او بسبب الحركات الارضية المختلفة. ويكون الضغط على نوعين:

- ضغط الاجهاد او الموّجه: وينتج من الحركات الارضية ويكون عادة موجهاً بأتجاه معين.
- الضغط المحصور او الهيدوستاتيكي: هذا النوع يكون منتظماً ومتساوياً في جميع الاتجاهات وعلى اعماق كبيرة.

ج) المحاليل الكيمياوية النشطة: وهي السوائل والابخرة المتحررة من الصهير وهي تعمل كوسط لانتقال الايونات من مكان لآخر في نفس الصخرة او كوسط لجلب الايونات الى الصخرة من الخارج وبالعكس. وعلى هذا الاساس لابد من حصول تغيير كيمياوي على تركيب الصخرة.

2.4 انواع التحوّل Types of Metamorphism

هنالك ثلاثة انواع رئيسية لعملية التحوّل وهي:

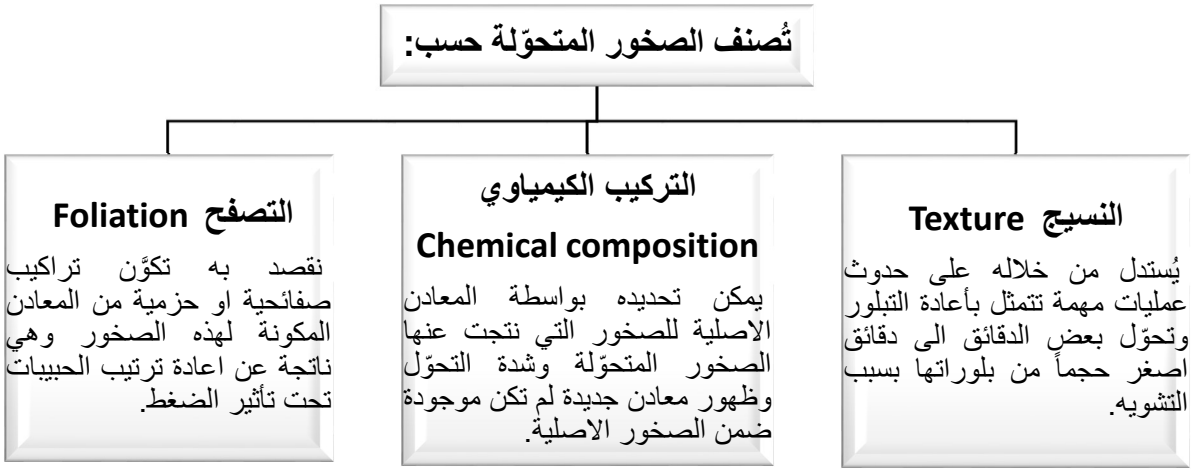
أ) التحوّل الحراري او التماسي: ويكون بسبب الحرارة المرتفعة (بدون ضغط) او بسبب قرب او تماس الصخور مع الاجسام النارية (الصهير). من امثلتها تحول الحجر الجيري Limestone الى رخام او مرمر Marble والصخور الرملية Sandstone الى كوارتزايت Quartzite.

ب) التحوّل الاقليمي: يحصل هذا النوع من التحوّل على اعماق كبيرة حيث تواجد الحرارة والضغط العاليين. حيث يكون الضغط من نوع ضغط الحمل Load pressure وهذا يؤثر على مناطق كبيرة في باطن الارض.

ج) **التحوّل الديناميكي:** وهو التحوّل الناتج بسبب الضغط العالي (بدون حرارة) اي الضغط الموّجه او ضغط الاجهاد الناتج من عملية ديناميكية.

3.4 تصنيف الصخور المتحـوّلـة Classification of Metamorphic Rocks

يمكن تصنيف الصخور المتحوّلة بثلاثة طرق رئيسية كما موضح في الشكل رقم (3 – 4).



شكل رقم (3 – 4) طرق تصنيف الصخور المتحوّلة .

واخيراً.. ندرج الجدول رقم (3 – 7) المعتمد لتصنيف الصخور المتحوّلة بحسب الصخرة الاصلية والنسيج ونوع التحوّل.

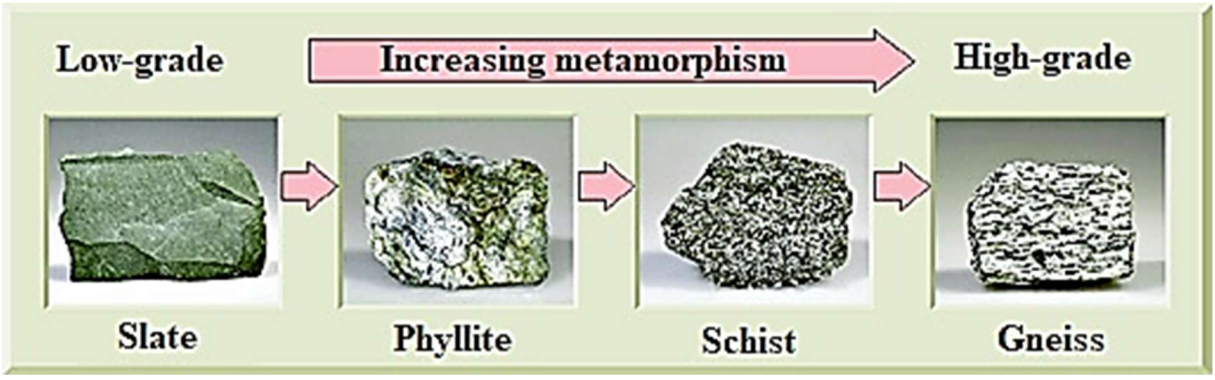
جدول رقم (3 – 7) تصنيف الصخور المتحوّلة.

نوع الصخرة	النسيج	الصخرة الاصلية	نوع التحوّل	اسم الصخرة
صخور صفائحية	تشقق سليتي صفائحي	طَفْل Shale	تحوّل اقليمي	سليت Slate
	نسيج متصفح	طَفْل وسليت		فيلايت Phyllite
	نسيج شستوسي	طَفْل وسليت وفيلايت		شست Schist
	نسيج حُزمي	صخور نارية او		نايس Gneiss
	نسيج نايسي	رسوبية او متحولة		
صخور غير صفائحية	ناعمة الى خشنة التبلور	صخور جيرية	تحوّل اقليمي او تماسي	رخام Marble
	حبيبية النسيج	صخور رملية		كوارتزايت Quartzite
	حبيبات ناعمة وكثيفة	طَفْلShale	تحوّل تماسي	هورنفليس Hornfels

4.4 اشكال الصخور المتحـوّلـة Types of Metamorphic Rocks

اولاً: الصخور الصفائحية Foliated Rocks

وهي الصخور المتكونة نتيجة التحوّل الاقليمي وتحتوي عادة على معادن مرتبة بشكل صفائحي او حزمي وتكون على شكل طبقات متوازية. وعندما تكون درجة تأثر الصخور بعملية التحوّل في اعلى درجاتها عندها يكون الناتج النهائي صخور النايس Gneiss وهي درجة متقدمة جداً من التحوّل. وقد تنتج عن هذه الصخرة المتحوّلة انواع اخرى مختلفة من الصخور النارية والرسوبية وحتى المتحولة. في حين تتكوّن صخور الشست Schist من تحوّل الصخور الرسوبية والمتحوّلة بدرجة متوسطة. اما صخور الاردواز Slate والفيلايت Phyllite فهي الاخرى صخور متحوّلة تكوّنت بدرجات تحوّل واطئة. الشكل (3 – 5) يوضح امثلة لبعض انواع الصخور ودرجة تحوّلها الى صخور صفائحية.



شكل رقم (3 – 5) امثلة لدرجة تحوّل بعض الصخور الى صخور صفائحية.

ثانياً: الصخور الغير صفائحية Non-Foliated Rocks

وهي الصخور المتكوّنة بسبب التماس او التحوّل الحراري نتيجة تبلور معادنها بالحرارة. وتتميز هذه الصخور بعدم تصّفح طبقاتها لعدم وجود استطالة في المعادن بإتجاه معين. غالبا ماتكون صخورها الاصلية رسوبية. من امثلتها صخرة الكوارتزايت من اصل رملي وصخرة الرخام من اصل جيري. الشكل رقم (3 – 6) يوضح امثلة لبعض انواع الصخور ودرجة تحوّلها الى صخور غير صفائحية.

شكل رقم (3 – 6) امثلة لدرجة تحوّل بعض الصخور الى صخور غير صفائحية.

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل الرابع : التجوية والتعرية

1. تعريف التجوية

تعرف التجوية (Weathering) على انها مجموعة من العمليات الفيزياوية والكيمياوية التي تؤثر وتبدل بفيزياوية وكيمياوية الصخور المتواجدة على سطح الارض وتحتاج هذه العمليات الى طاقة والمصدر يكون الاشعة الشمسية، فحركة المياه على السطح او خلال التربة وانجمادها كلها مرتبطة بصورة مباشرة او غير مباشرة بالطاقة الشمسية. وتشمل التجوية تأثير العوامل التالية على تركيب وشكل الصخور:

- تأثير الرياح والتقلبات الجوية.
- تأثير المياه على سطح الارض.
- تأثير الاحياء العضوية.

وبالتالي فأن التغيرات الناتجة عن التجوية مهمة في تكوين التربة لان التربة ماهي الا حصيلة عمليات التجوية. ولما كانت معظم مشاريع البناء تقام على الصخور المتأثرة بالتجوية اكثر منها على الصخور السليمة لذا يتوجب على المهندس المدني معرفة مبادئ عمليتي التجوية والتعرية وكيفية تكوّن التربة ومكوناتها المعدنية ليتسنى له فهم وتقدير الخواص الهندسية والميكانيكية للتربة. ان عمليتي التجوية والتعرية متلازمتان احداهما تكمل الاخرى يتم خلالهما تفتيت الصخور ونقلها الى مكان اخر مما يؤدي الى تغيير شكل الارض.

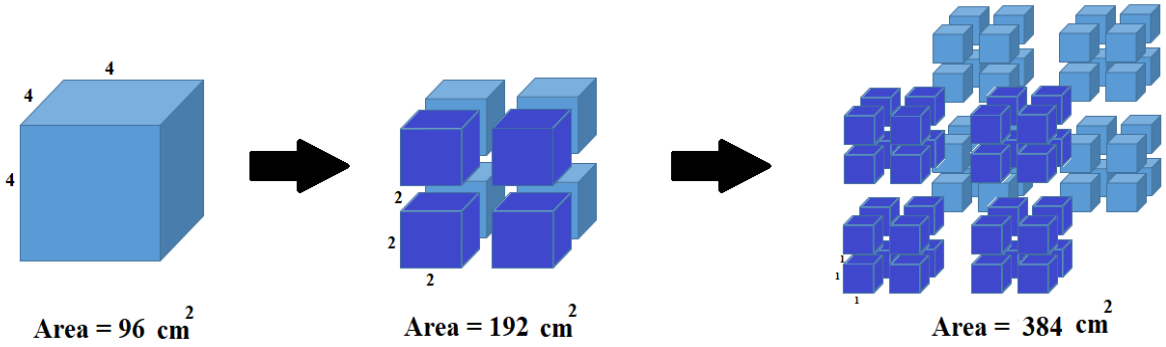
2. اقسام التجوية

تتأثر الصخور بكافة اصنافها بعوامل التجوية المختلفة كالماء والهواء ودرجات الحرارة فتتفتت وتتكسر وتتحلل وتتغير صفاتها العامة. ويلعب المناخ والتضاريس فضلاً عن الصخور الام الاصلية دوراً هاماً في تحديد طبيعة النواتج المتحررة من جراء ذلك. تنقسم التجوية الى ثلاثة اقسام رئيسية تبعا للعامل الذي يقوم بتفتيت الصخور وهي كالتالي:

اولاً: <u>التجوية الحياتية</u>: وهي التي تحدث بفعل النباتات والحيوانات. حيث تعمل الحيوانات على حفر وخلط التربة وتترك فراغات فيها وكذلك جذور النباتات. كما تؤثر جذور الاشجار مثلا عند نموها وتنتج احماضاً عضوية تسهم في اذابة الصخور المجاورة لها وتسهم في تفتيتها.

ثانياً: <u>التجوية الميكانيكية او التكسّر</u>: وهي عملية تفتيت وتكسير الصخور بسبب تأثرها بدرجات الحرارة والمياه دون المساس بتركيبها الكيمياوي. ولهذه العملية اهمية كبيرة في الاسراع من عمليات التجوية الكيمياوية للصخور وذلك لما تولده من زيادة في المساحة السطحية. حيث ان تكسير حجم معين من صخرة الى اجزاء اصغر يوّلد زيادة في المساحة السطحية وتزداد الاخيرة بصورة عكسية مع الحجم اي كلما قل حجم القطع المتكسرة ازدادت المساحة السطحية كما مبين في الشكل رقم (4 – 1).

ثالثاً: <u>التجوية الكيمياوية او التحلل</u>: وهي تفاعلات معقدة يستخدم في معظمها الماء وثاني اوكسيد الكاربون والاوكسجين والحوامض والمواد العضوية التي تعمل على تغيير وتبديل المعادن الموجودة في الصخر الى معادن اخرى اكثر تحملاً للظروف الجوية السائدة. وتختلف سرعة المعادن للتجوية اعتماداً على ظروف تكوينها اذ ان معظم المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة تتكون بدرجات حرارة وضغط عاليين تختلف عما هو سائد.



شكل رقم (4 – 1) كيفية حساب المساحة السطحية لصخر مكعب الشكل

3. انواع التجوية الميكانيكية

أ) **التقشّر**: حيث تتقشر الاجزاء الخارجية للصخرة بشكل صفائح بموازاة سطح الصخرة. وقد يختلف سمك الصفائح فقد يكون رقيقاً او سميكاً تبعا لنوع المعادن المكونة للصخرة. حيث يُعتقد ان تعدد المعادن يوّلد انفصال طبقات من الجسم الاصلي للصخرة. اما الرأي الاخر يعزي هذه الظاهرة الى ازالة الصخور او الرواسب بسبب خفض الضغط المسلط على الصخور التي كانت تحتها مما تسبب في تقشرها على شكل صفائح.

ب) **التغيرات الحرارية**: يساهم التغير الحراري ليلاً ونهاراً في تمديد وتقليص المعادن في الصخور. وبما ان معاملات التمدد تختلف من معدن لآخر لذا تتسبب التغيرات الحرارية في تشقق الصخور وخاصة في المناطق الصحراوية. كذلك التبخر والصواعق وحرائق الغابات حيث تعمل الحرارة على تمدد المعادن وذوبانها وتبلور الاملاح.

ج) **عوامل اخرى**: مثلاً نجد ان المياه المتغلغلة في الشقوق والمسامات الصخرية تتجمد عند انخفاض درجات الحرارة. حيث ان انجماد الماء يسبب زيادة حجمه وبالتالي يوّلد ضغطاً كبيرا على الصخور فيعمل على زيادة التكسرات والشقوق. بالاضافة الى ان سقوط القطع الصخرية من الجبال يعمل على تفتيت وتكسير الصخور.

4. انواع التجوية الكيمياوية

أ) **التحلل المائي**: وهي عملية تفاعل ايون الهيدروجين H^+ والهيدروكسيل OH^- الناتج من تحلل الماء والعناصر المعدنية. حيث تتحول هذه المعادن الى معادن طينية وينتج من هذه العملية تحرر الايونات الموجبة كالبوتاسيوم والكالسيوم والصوديوم. تقوم النباتات بامتصاص البوتاسيوم اما ايونات الكالسيوم والصوديوم فتنتقل على شكل محاليل مع المياه.

ب) **الاتحاد بالماء**: وهي عملية اتحاد جزيئات الماء مع بعض المعادن مما يؤدي الى تغيير في التركيب المعدني للمعدن الاصلي مثلا اتحاد الماء مع الانهايدرايت $CaSO_4$ ينتج عنه الجبس Gypsum الذي يذوب بسرعة في المياه بالاضافة الى التغيير الذي يحصل على الحجم.

$$CaSO_4 + 2H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$

الانهايدرايت + الماء ⟶ الجبس

ج) **الكربنة او التحول الى كاربونات**: وهي عملية اتحاد غاز ثاني اوكسيد الكاربون CO_2 الموجود بالجو مع قطرات المطر مكوناً حامض الكاربونيك H_2CO_3 الضعيف. وقد ينتج هذا الحامض بتركيز عشر مرات في التربة مما هو عليه في الجو من اتحاد غاز ثاني اوكسيد الكاربون مع الماء الموجود في التربة محرراً ايون الهيدروجين الذي يساهم في تحليل المعادن. مثال على ذلك تحلل حجر الكلسايت $CaCO_3$ بعملية الكربنة.

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

الكاربونايت + الهيدروجين ⟵ حامض الكاربونيك ⟵ الماء + ثاني اوكسيد الكاربون

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \longrightarrow Ca^{+2} + 2HCO_3^-$$

الكاربونايت + الكالسيوم ⟵ حامض الكاربونيك + الكلسايت

د) **التأكسد او الأكسدة**: هو عبارة عن اتحادالاوكسجين مع المعادن الحاوية على ايون الحديد الذي يكون في حالة اختزال. وتُبدل هذه العملية لون المعدن وتحوله الى اللون البني او الاحمر بوجود الماء. وكمثال على ذلك تأكسد معدن البايريت.

$$2FeS_2 + 7O_2 + H_2O \longrightarrow 2Fe^{+2} + 4SO_4^{-2} + 4H^+$$

الهيدروجين + كبريتات + حديد ⟵ ماء + اوكسجين + كبريتيد الحديد

هـ) **الذوبان**: يعتبر الماء من اقوى المذيبات المعروفة على الارض. فكثير من المواد اللاعضوية وقسما من المواد العضوية تذوب في المياه ومما يساعد في عملية الاذابة التركيب الايوني وتوزيع شحنات جزيئة الماء فتتحلل المعادن الى ايونات ذائبة. وكمثال على ذلك ذوبان معدن الهالايت والجبس كما موضح في المعادلات ادناه.

$$NaCl + H_2O \longrightarrow H_2O + Na^+ + Cl^-$$

الكلور + الصوديوم + الماء ⟵ الماء + كلوريد الصوديوم (الهالايت)

$$CaSO_4.2H_2O + H_2O \longrightarrow Ca^{+2} + SO_4^{-2} + H_2O$$

الماء + كبريتات + الكالسيوم ⟵ الماء + الجبس

5. نواتج التجوية الكيمياوية للمعادن الشائعة

يمكن تلخيص نواتج عمليات التجوية الكيمياوية للمعادن المكونة للصخور الشائعة كالتالي:

1) الكوارتز SiO_2 : تأثره قليل جدا بالتجوية وقد يذوب جزء ضئيل منه.
2) الفلدسبار : تأثره بالتجوية كبير جدا حيث ينتج عنه معادن طينية وبعض الكوراتز على شكل حبيبان ناعمة جدا بالاضافة الى املاح ذائبة وسليكا قليلة ذائبة تنتقل بواسطة المحاليل.

3) المعادن الفيرومغنيسية: تأثرها بالتجوية كبير جدا وينتج عنها معادن طينية واكاسيد الحديد كالليمونايت والهيميتايت والكوارتز على شكل حبيبات ناعمة وفي بعض الاحيان الكلسايت واملاح ذائبة وسليكا قليلة ذائبة تنتقل بواسطة المحاليل.

6. تأثير المناخ على عمليات التجوية

تتأثر عمليات التجوية الميكانيكية والكيمياوية بالمناخ السائد في المنطقة. ويقصد بالمناخ هو درجات الحرارة والرياح وكمية الامطار الساقطة. تكون التجوية في المناطق التالية:

- ✓ المناطق الاستوائية : تكون فيها درجات الحرارة عالية وكمية الامطار الساقطة كبيرة مما يجعل من الصخور رطبة دائما وبالتالي تكون عمليات التجوية سريعة.
- ✓ المناطق المعتدلة : تكون فيها درجات الحرارة والرطوبة وكمية الامطار اقل نسبيا من المناطق الاستوائية وبالتالي عمليات التجوية تأخذ وقتا اطول.
- ✓ المناطق القارية الحارة : تقل فيها عمليات التجوية الكيمياوية بسبب الحرارة العالية وقساوة الصخور وقلة الامطار وسرعة التبخر.
- ✓ المناطق القطبية المنجمدة : تقل فيها عمليات التجوية بسبب انجماد الماء طيلة ايام السنة فيقل التفاعل مع المعادن المكونة للصخور.

7. مفهوم التعرية

بعد ان تتم عمليات التجوية حيت تتكسر وتتفتت الصخور تنقل هذه الفتات الصخرية بواسطة المياه او الرياح وتترسب في مكان اخر ويطلق على هذه المرحلة النهائية بعملية التعرية. تكون فتات الصخور الموجودة في اماكن عديدة مختلفة في تركيبها المعدني وصفاتها الاخرى عن الصخور الاساسية التي تترسب عليها وهذا دليل على انتقال هذه الفتات من مكان الى آخر جديد. وتستغرق عملية التعرية وقتاً اطول من عمليات التجوية قد يصل الى الالاف السنين فعلى سبيل المثال تبلغ سرعة التعرية 1.3 – 1.5 سم في حوض نهر دجلة الشمالي لكل الف سنة في الوقت الحاضر.

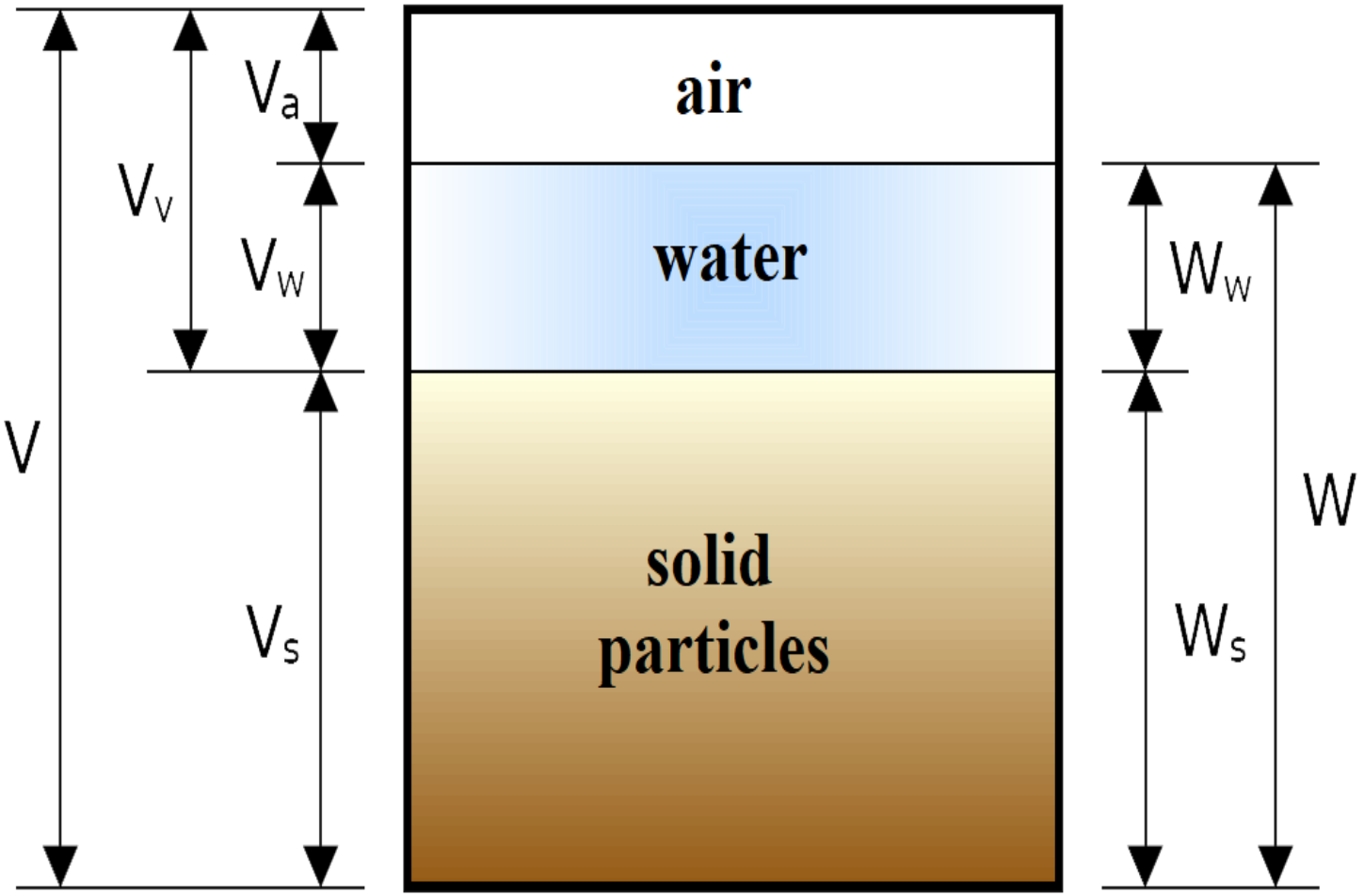
ومن اهم عوامل التعرية التي تعتبر الوسط الناقل للفتات الصخري هي:

- ✓ الرياح.
- ✓ الامواج البحرية والتيارات النهرية.
- ✓ الزحف الجليدي.
- ✓ الامطار.
- ✓ الجاذبية.
- ✓ انزلاقات الكتل الارضية.

جامعة المثنى – كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية – المرحلة الاولى

د. نورانس علي رزاق المكرم

الفصل الخامس : خواص التربة الفيزياوية



مثال: عينة من التربة تزن بحالتها الطبيعية 2290 غم وحجمها 0.00115 م3. بعد تجفيف العينة في الفرن أصبح وزنها 2035 غم. احسب مايلي: الكثافة، محتوى الرطوبة، محتوى الهواء، درجة التشبع بالماء، المسامية، نسبة الفراغات، علما ان الوزن النوعي للحبيبات هو 2.68.

$$\beta = \frac{W}{V} = \frac{2.290}{0.00115} = 1990\frac{kg}{m^3} = 1.99\frac{gm}{cm^3}$$

$$W_C = \frac{W_{watre}}{W_{dry\ soil}} * 100 = \frac{W_{wet\ soil} - W_{dry\ soil}}{W_{dry\ soil}} = \frac{2290 - 2035}{2035} * 100 = 12.5\%$$

$$\beta = \frac{G_S\,(1+W_C)}{(1+V_r)} * \beta_W \longrightarrow 1990 = \frac{2.68(1+0.125)}{(1+V_r)} * 1000$$

$$V_r = 0.52 \longrightarrow \rho = \frac{V_r}{1+V_r} = \frac{0.52}{1+0.52} = 0.34 = 34\%$$

$$S_r = \frac{W_C * G_S}{V_r} = \frac{0.125 * 2.68}{0.52} = 0.645 = 64.5\%$$

$$A = \rho\,(1 - S_r) = 0.34\,(1 - 0.645) = 0.121 = 12.1\%$$

مثال: عينة من التربة كثافتها الحقلية 1550 كغم/م3. اذا كان محتوى الرطوبة = 27% والوزن النوعي للحبيبات هو 2.45، اوجد وزن العينة بعد تجفيفها والمسامية ونسبة التشبع بالماء.

$$\beta = \frac{W}{V} = 1550\,\frac{kg}{m^3} \quad , \quad assume\ V = 1\,m^3 \quad , \quad then \quad W_{wet} = 1550\,kg$$

$$W_C = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} * 100 \rightarrow 27 = \frac{1550 - W_{dry}}{W_{dry}} * 100 \rightarrow W_{dry} = 1220.47\,kg$$

$$\beta = \frac{G_S\,(1+W_C)}{(1+V_r)} * \beta_W \longrightarrow 1550 = \frac{2.45(1+0.27)}{(1+V_r)} * 1000$$

$$V_r = 1.0072 \longrightarrow \rho = \frac{V_r}{1+V_r} = \frac{1.0072}{1+1.0072} = 0.50 = 50\%$$

$$S_r = \frac{W_C * G_S}{V_r} = \frac{0.27 * 2.45}{1.0072} = 0.656 = 65.6\%$$

$$A = \rho\,(1 - S_r) = 0.50\,(1 - 0.656) = 0.172 = 17.2\%$$

مثال: عينة من التربة وزنها الجاف 1100 كغم. اذا كان محتوى الرطوبة = 15% والوزن النوعي للحبيبات هو 3.05، اوجد الكثافة الحقلية والمسامية ونسبة التشبع بالماء.

$$\beta = \frac{W}{V} = ?? \ \frac{kg}{m^3} \quad , \quad assume \ V = 1\,m^3 \ , \ W_{dry} = 1100\,kg$$

$$W_C = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} * 100 \longrightarrow 15 = \frac{W_{wet} - 1100}{1100} * 100 \longrightarrow W_{wet} = 1265\,kg$$

$$\beta = \frac{W_{wet}}{V} = \frac{1265}{1} = 1265\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\beta = \frac{G_S\,(1+W_C)}{(1+V_r)} * \beta_W \longrightarrow 1265 = \frac{3.05(1+0.15)}{(1+V_r)} * 1000$$

$$V_r = 1.772 \longrightarrow \rho = \frac{V_r}{1+V_r} = \frac{1.772}{1+1.772} = 0.639 = 63.9\%$$

$$S_r = \frac{W_C * G_S}{V_r} = \frac{0.15 \ * 3.05}{1.772} = 0.258 = 25.8\%$$

$$A = \rho\,(1 - S_r) = 0.639\,(1 - 0.258) = 0.474 = 47.4\%$$

مثال: عينة من التربة ذات نسبة فراغات = 80% محتوى الهواء= 25%.
اوجد الكثافة الحقلية ونسبة التشبع بالماء ومحتوى الرطوبة والوزن الجاف للعينة. علما ان الوزن النوعي لحبيبات التربة = 2.32 وحجمها 1.25 م3

$$A = \rho\,(1 - S_r) = \frac{V_r}{1 + V_r}(1 - S_r) \longrightarrow 0.25 = \frac{0.80}{1 + 0.80}(1 - S_r) \longrightarrow S_r = 0.4375$$

$$S_r = \frac{W_C * G_S}{V_r} \quad \longrightarrow \quad 0.4375 = \frac{W_C * 2.32}{0.80} \quad \longrightarrow \quad W_C = 0.1508 = 15.08\%$$

$$\beta = \frac{G_S\,(1+W_C)}{(1+V_r)} * \beta_W = \frac{2.32(1+0.1508)}{(1+0.80)} * 1000 = 1483.25\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\beta = \frac{W}{V} \quad \longrightarrow \quad 1483.25 = \frac{W}{1.25} \quad \longrightarrow \quad W = 1854.06\ kg = W_{wet}$$

$$W_C = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} * 100 \rightarrow 15.08 = \frac{1854.06 - W_{dry}}{W_{dry}} * 100 \rightarrow W_{dry} = 1611.10\ kg$$

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل الخامس : خواص التربة ومكوناتها

1. تعريف التربة Soil

تُعرّف التربة (Soil) على انها خليط من الفتات الصخري الناتج من تأثير عمليات التجوية الفيزياوية والكيمياوية والبايولوجية على الصخور المتواجدة على سطح الارض لتحويلها الى بيئة مناسبة لنمو النباتات. ومن وجهة نظر المهندس المدني، فأن التربة هي مجموعة من الرواسب والمواد العضوية المكوّنة للطبقة العليا من الصخور التي تكسّرت وتفتّتت بفعل عوامل التجوية والتعرية.

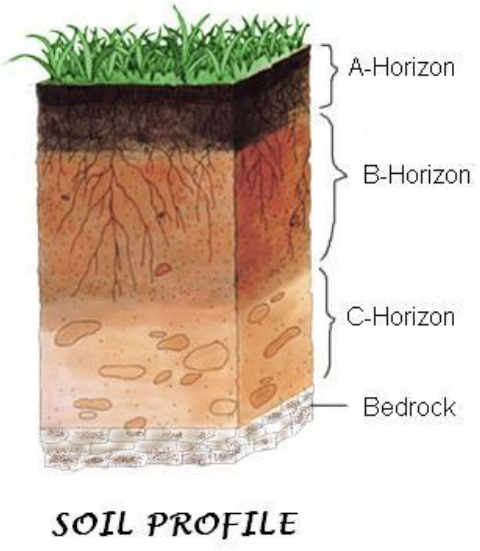
اما مكوناتها فهي عبارة عن مكونات صلبة تشمل الرمل والطين والمواد الغروية وبعض الاجزاء الصخرية الاخرى بالاضافة الى مكونات مائعة كالمواد والمحاليل الايونية الناتجة عن اذابة الاملاح فيها ومكونات غازية ذائبة كالاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون واخيراً مكونات عضوية من البقايا النباتية والحيوانية والبكتريا وفي بعض الحالات يتواجد فيها عناصر كالفسفور والكبريت ..... الخ.

2. مقطع التربة Soil profile

يتكون مقطع التربة من ثلاث نطاقات رئيسية كما موضح في الشكل رقم (5 – 1) ادناه ويمكن تلخيصها كما يلي:

- النطاق A: وهو النطاق الاول لمقطع التربة وتكون ذات لون بني غامق الى اسود بسبب احتوائها على كميات كبيرة من المواد العضوية غير المتأثرة او غير المتغيرة. كما تحوي على بعض المواد المتغيرة جزئيا تدعى (الهيومس Humus) وممتزجة جزئيا بمواد اخرى لاعضوية. ويمتاز هذا النطاق بوجود الحوامض التي تساهم في تحلل المعادن الموجودة بالتربة وقد تترشح هذه المحاليل وتختلط مع المياه الموجودة في الاسفل.
- النطاق B: ويلي النطاق الاول A ويتجسد فيه تأثير عمليات التجوية التي تسببت في تكوّن الاملاح والمواد الذائبة الموجودة ضمن تكوين الصخور. يحتوي هذا النطاق على الطين والمواد الغروية (الطمى) حيث يكون لون التربة فيه مائلاً للاحمرار بسبب احتوائها على اكاسيد الالمنيوم والحديد والمنغنيز.
- النطاق C: ويكون اسفل النطاق الثاني B وهو عبارة عن نطاق تجوية الصخور الاساسية بصورة جزئية.

ومن الجدير بالذكر هنا انه لا توجد خطوط فاصلة بين نطاقات التربة المذكورة اعلاه حيث يمكن ملاحظة تدرج التغيير من نطاق لآخر كتغير في سمك التربة.



شكل (5 – 1): مقطع طولي في التربة

3. تصنيف التربة Soil classification

1.3 حسب طريقة التكوين

تقسم التربة حسب طريقة تكوينها الى نوعين اساسيين وهما:

اولاً: <u>التربة المتخلفة او المتبقية Residual soil</u>: وهي التربة الاكثر شيوعا وهي خليط من المواد الناتجة من عمليات التجوية والتي تبقى في اماكن تكوينها ولا يتم نقلها الى اماكن اخرى بفعل عوامل التعرية. حيث يعتمد سمك هذه التربة على المناخ والزمن ونوع الصخور الاصلية. وتتكون من النطاقات الرئيسية الثلاثة الآنفة الذكر التي يمكن تمييزها. ومن انواعها التربة الحمراء (اللاتيرايت) والتربة البنية والتربة السوداء.

ثانياً: <u>التربة المنقولة Transported soil</u>: وهي التربة المتكونة من فتات الصخور التي انتقلت من اماكنها الاصلية عبر عوامل التعرية كالمياه والرياح والجليد والجاذبية الارضية. وهي لا تحوي على النطاق C كما يصعب التمييز بين النطاقين A و B خاصة عندما تكون التربة حديثة التكوين. ومع مرور الوقت تزداد نسبة المواد العضوية بالتربة وخاصة في النطاق A وتتجه اكاسيد الالمنيوم والحديد الى النطاق B فيصبح بالامكان تمييزها. ومن ا انواعها:

أ) **التربة التثاقلية: وهي التربة التي تكونت من فتات الصخور المتجمع في الوديان واسفل المنحدرات بسبب عمليات التجوية الميكانيكية والجذب الارضي ولها اهمية كبيرة في اعمال الهندسة المدنية.**

ب) **التربة الريحية: وهي عبارة عن التربة المترسبة بواسطة الرياح ومنها الكثبان الرملية في المناطق الصحراوية والشواطئ البحرية وتربة اللوس (الطَفْل) وتكون حبيباتها اصغر من حبيبات الرمل وهي بحجم الغرين (0.002 – 0.006 ملم).**

ج) **التربة الجليدية: وهي قليلة الاهمية في العراق وتتكون من الترسبات المنقولة بواسطة الثلاجات وليس لها نظام طبقي معين.**

د) **التربة المائية: وهي التربة المترسبة بواسطة المياه الجارية او الراكدة وتعتبر من اهم الترب المنقولة في العراق. ومن انواعها: ترسبات المياه العذبة والبحيرات والفيضانات وترسبات البحار والمحيطات.**

2.3 حسب التركيب المعدني

تلعب المعادن دورا مهما في تقرير الخواص الهندسية للتربة. فالترب الطينية تكون ذات مشاكل اكبر للمهندس المدني منها في الترب الرملية، بسبب احتواء الطين على معادن تكوّنت بفعل عوامل التجوية الكيمياوية للمعادن الاصلية مثل سليكات الالمنيوم. ومن اهم مجاميع المعادن الطينية هي:

اولاً: <u>الكاوولينات</u>: وتكون على هيئة صفائح من السليكا والجبسايت غير قابلة للذوبان في الماء. وتكون اقلهم انتفاخية ونفاذية واقلهم تماسكاً من الناحية الهندسية.

ثانياً: <u>المونتموريلونايت</u>: وتكون على شكل طبقتين من السليكا وطبقة وسطية من الجبسايت. تسمح بتغلغل جزيئات الماء بين طبقاتها مما يسبب الانتفاخ او التمدد Swelling. ومن الناحية الهندسية تكون اكثر نفاذية واكثر تماسكاً.

ثالثاً: الإيلايت: تشبه في تركيبها مجموعة المونتموريلونايت وتكون على شكل طبقتين من السليكا وطبقة وسطية من الجبسايت. ومن الناحية الهندسية تكون ذات قابلية انتفاخية ونفاذية وتماسك وسطية مابين مجموعتي الكاؤولينات والمونتموريلونايت.

3.3 حسب الاملاح

اولاً: الترب الملحية: وهي التي تحتوي على نسبة عالية من املاح الصوديوم. وتوجد في المناطق الجافة والتي يكون فيها مستوى المياه الجوفية قريبا من سطح الارض. وبسبب الخاصية الشعرية فأن رطوبة التربة تسحب من المياه الجوفية وعند التبخر تترسب المواد الذائبة تاركة املاح كلوريد الصوديوم المتبلور وكبريتات الصوديوم.

ثانياً: الترب القلوية: وهي التي تحتوي على كاربونات الصوديوم وتتسبب بتكوّن الشقوق الناتجة عن الانكماش بسبب الجفاف.

4. طرق إستصلاح الترب الملحية

يمكن تلخيص طرق ازالة الاملاح من التربة كالتالي:

أ) تغطية سطح التربة بطبقة رقيقة من الرمل النهري الذي سيدخل التربة تدريجيا.
ب) اضافة كمية محسوبة من الجبس Gypsum الذي سيعمل كمخفف ومنقي للترب الملحية لكن تكون العملية مكلفة.
ج) تغيير اساس التربة بأضافة بيكربونات الكالسيوم.
د) والطريقة الافضل هي العمل على خفض منسوب الماء الجوفي بعمل نقاط ضخ او قنوات داخل التربة.

5. العوامل المؤثرة في تكوين التربة

أ) الصخر الاصلي : تتأثر التربة بطبيعة الصخور الاصلية المكوّنة منها. فمثلا التربة المتكونة من الكوارتزايت والسليت تكون غير سميكة، بينما التربة المكوّنة فوق الحجر الرملي النفاذ والبازلت النفاذ تكون سميكة وحمراء داكنة اللون بسبب احتوائها على اكاسيد الحديد المستخلص من البازلت.
ب) المناخ : وهو يحدد سرعة عملية التجوية كما يحدد نوعية النباتات الموجودة في المنطقة. فمثلا الجو الرطب يساعد على تكوين لتربة في وقت قصير نسبيا ووجود النباتات يزيد من نسبة ثاني اوكسيد الكاربون الذي بدوره يزيد من تركيز حامض الكربونيك الذي يحلل قسماً من المعادن. كذلك، الحرارة العالية تُسّرع من عملية التبخر.
ج) التضاريس : تختلف سرعة التعرية باختلاف التضاريس. فمثلا سفوح الجبال تمتاز بسرعة تعرية عالية مما يمنع من تثبيت وتجميع التربة فوقها، بينما تقل سرعة التعرية فوق الاراضي المنبسطة فيزداد سمك التربة فيها. كذلك تؤثر التضاريس على سرعة تصريف المياه وبالتالي تؤثر على نوعية التربة الناتجة.
د) العمليات العضوية : هذه العمليات تتأثر بنوع التضاريس والمناخ. فمثلا تصل العمليات العضوية اقصى فعاليتها في المناطق الاستوائية بسبب كميات الرطوبة فتتكون حوامض عضوية تساعد على تحلل المعادن.
ه) الزمن : يساعد على اكمال التفاعلات في التربة مما يجعلها تظهر متكاملة في النطاقات المختلفة واحيانا تحتاج التربة الى وقت طويل لكي تتكامل. فمثلا التربة المتكونة على رواسب الثلاجات التي تتراوح اعمارها حوالي

20,000 سنة كمعدل تكون اقل سمكاً من التربة المتكونة فوق رواسب الثلاجات التي تكوّنت في العصور الجيولوجية القديمة.

6. تربة العراق

تختلف التربة في العراق من مكان الى اخر سواء من الناحية الجيولوجية او من الناحية الهندسية. ويرجع السبب الى طريقة تكوينها والعلاقة الوراثية بين مكونات التربة الاصلية وصخور الاساس يضاف الى ذلك عوامل نقل التربة والتأثيرات المناخية من منطقة الى اخرى. هذا بالاضافة الى تأثير التضاريس الارضية والغطاء النباتي.

ويمكن تقسيم تربة العراق الى:

أ) تربة المناطق الجبلية والمرتفعات في شمال العراق: وهي التربة الناتجة من عمليات التجوية الكيمياوية وتتصف بوجود النطاقات الثلاثة. تمتاز هذه التربة بقلة وجود الاملاح فيها وكونها سميكة خاصة في الوديان. كما تتصف بالانتفاخية والشقوق لوجود معدن المونتموريلونايت. وفي المرتفعات تكون التربة مكوّنة من الحجر الرملي والحجر الجيري. اما في المناطق المحاذية لسلاسل الجبال فتكون نسبة المواد الكلسية اكثر من المواد الجبسية بسبب تعرية الصخور الكلسية.

ب) تربة السهل الرسوبي في وسط وجنوب العراق: وهي التي تكونت من ترسبات الغرين وتكون سميكة على شكل طبقات وغنية بالاملاح مثل كبريتات وكاربونات الكالسيوم. ويكون منسوب المياه الجوفية فيها مرتفعاً، والمعدن الاساسي هو المونتموريلونايت والإيلايت. وغالبا ما تستخدم في صناعة الطابوق والاسمنت.

ج) تربة المناطق الصحراوية: وهي التي تكونت بفعل عمليات التجوية الميكانيكية بواسطة الرياح وتكون على هيئة رمال من فتات الجبس Gypsum ذات اعماق قليلة وتكون ذات نسبة املاح عالية.

7. خصائص التربة Soil characteristics

يمكن تقسيم خصائص التربة كالتالي:

اولاً: الخصائص الفيزيائية للتربة Physical characteristics

كما هو معلوم ان التربة تتكون من ثلاثة مكونات أساسية هي الحبيبات الصلبة solid particles والفراغات voids بين هذه الحبيبات والماء أو الهواء أو كلاهما داخل هذه الفراغات. وتكون التربة جافة dry إذا كانت فراغاتها مليئة بالهواء وحده، ومشبعة جزئيا إذا تقاسم الهواء والماء فراغاتها، ومشبعة كلياً بالماء اذا ملأ الماء جميع الفراغات.

ومن فحوصات التربة المستخدمة في المواقع الانشائية ما يلي:

1) فحص محتوى الرطوبة (Moisture or water content test) هو النسبة بين وزن الماء في فراغات التربة ووزن حبيبات التربة الصلبة ويعبر عنه بنسبة مئوية دائماً.

$$W_C = \frac{W_W}{W_S} * 100$$

Where,

W_C : Water content %

W_W : Weight of water

W_S : Weight of solid particles

ويقاس محتوى الرطوبة عن طريق تجفيف عينة من التربة في فرن التجفيف الخاص Drying oven على درجة حرارة قياسية تتراوح بين 105 – 110 درجة مئوية. ومن ثم نقارن ورزنها قبل وبعد عملية التجفيف او بعد مرور 24 ساعة كما تحدد المواصفات الخاصة بهذا الفحص.

2) درجة التشبع بالماء (Degree of saturation) وهي النسبة بين حجم الماء في فراغات التربة الى الحجم الكلي للفراغات.

$$S_r = \frac{V_W}{V_V} * 100$$

S_r : Saturations degree %

V_W : Volume of voids filled with water

V_V : Volume of voids

مثلاً، تكون درجة التشبع (صفر%) للعينات الجافة و (100%) للعينات المشبعة تماماً بالماء وهكذا.

3) الكثافة (Bulk density) هي النسبة بين الكتلة الكلية للتربة إلى حجمها. وتقاس الكثافة بوحدات كغم/ م^3 أو غم/ سم^3. اما كثافة الماء β_w فتعادل 1000 كغم/م^3 = 1 غم/سم^3.

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

β : Bulk density is measured in kg/m^3 or gm/cm^3

W: Weight of sample

V: Volume of sample

4) محتوى الهواء (Air content) وهو النسبة بين حجم الهواء الموجود في فراغات التربة الى الحجم الكلي للتربة مع الفراغات.

$$A = \frac{V_A}{V} = \frac{V_A}{V_S + V_V}$$

A: air content

V_A : Volume of air

V_V : Volume of voids

V_S : Volume of solid particles

V : Volume of sample

5) **نسبة الفراغات (Voids ratio) وهي النسبة بين حجم الفراغات الموجودة الى الحجم الصلب من التربة (بدون حجم الفراغات). وتتغير قيمة نسبة الفراغات للتربة ضمن نطاق واسع فقد تكون اقل من 1 للتربة المرصوصة، او اكبر من 1 للتربة المتخلخلة. وفي الحالة الاخيرة ينبغي معالجة التربة بإجراءات خاصة لغرض تحسينها وتقويتها قبل تشييد اي منشأ عليها.**

$$V_r = \frac{V_A}{V_S}$$

V_r : Voids ratio

6) **المسامية (Porosity) وهي النسبة بين حجم الفراغات الموجودة في التربة الى الحجم الكلي للتربة.**

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

ρ : Porosity

وترتبط المسامية ρ بنسبة الفراغات V_r بالمعادلة التالية:

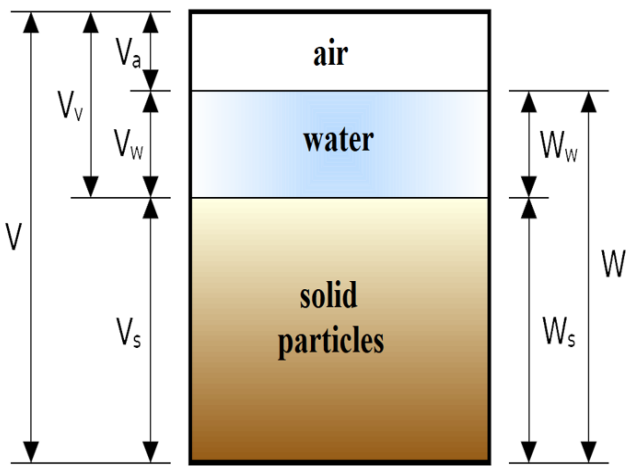
$$\rho = \frac{V_r}{1 + V_r} \qquad or \qquad V_r = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

7) **الوزن النوعي (Specific gravity) وهو النسبة بين كتلة الحبيبات الصلبة إلى وزن كمية من الماء تشغل نفس الحجم.**

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \ \beta_W} = \frac{W_S}{\beta_S}$$

G_S : Specific gravity

β_S : Bulk density of soil = G_S . β_w



If Vs = 1 cubic unit, prove that:

$$S_r = \frac{W_C}{V_r * \beta_W}$$

$$\beta = \frac{G_S\,(1 + W_C)}{(1 + V_r)} * \beta_W$$

$$\beta = \frac{(G_S + S_r * V_r)}{(1 + V_r)} * \beta_W$$

مثال: عينة من التربة تزن بحالتها الطبيعية 2290 غم وحجمها 0.00115 م3. بعد تجفيف العينة في الفرن أصبح وزنها 2035 غم. احسب مايلي: الكثافة، محتوى الرطوبة، محتوى الهواء، درجة التشبع بالماء، المسامية، نسبة الفراغات، علما ان الوزن النوعي للحبيبات هو 2.68.

$$\beta = \frac{W}{V} = \frac{2.290}{0.00115} = 1990\,\frac{kg}{m^3} = 1.99\,\frac{gm}{cm^3}$$

$$W_C = \frac{W_W}{W_S} * 100 = \frac{2290 - 2035}{2035} * 100 = 12.5\%$$

$$\beta = \frac{G_S\,(1+W_C)}{(1+V_r)} * \beta_W \longrightarrow 1990 = \frac{2.68(1+0.125)}{(1+V_r)} * 1000$$

$$V_r = 0.52 \longrightarrow \rho = 0.34$$

$$S_r = \frac{W_C * G_S}{V_r} = \frac{0.125 * 2.68}{0.52} = 0.645 = 64.5\%$$

$$A = \rho\,(1 - S_r) = 0.34\,(1 - 0.645) = 0.121 = 12.1\%$$

ثانياً: الخصائص الكيمياوية للتربة Chemical characteristics

تتعلق الخصائص الكيميائية للتربة بما تحتويه الاخيرة من مواد يسبب وجودها أضرارًا للاجزاء المطمورة من المبنى أو المنشأ المتلامسة مع التربة، مثل الاساسات باشكالها، جدران القبو، الأنابيب الخرسانية وأية أجزاء أخرى متلامسة مع التربة المحيطة. ويمكن ايجاز أهم الجوانب العملية التي تتعلق بالخصائص الكيميائية للتربة كالتالي:

أ) **محتوى الكبريتات في التربة: تكون الكبريتات الذائبة في الماء والتي تتواجد عادة في التربة على شكل كبريتات الصوديوم وكبريتات المغنيسيوم وتوجد ايضا كبريتات الكالسيوم على شكل جبس ولكنها بطيئة الذوبان في الماء. وتكمن خطورة الاملاح الذائبة في المياه الجوفية في مهاجمتها للاجزاء الخرسانية او الاسمنتية من المبنى المشيد على التربة مما تتسبب في حصول تفاعل بين الكبريتات والالومينات الموجودة بالاسمنت وبالتالي تحدث التشققات أو صدأ الانابيب المطمورة في التربة وكذلك التسربات.**

ب) **حامضية أو قاعدية الوسط: تؤثر قاعدية أو حامضية المياه الجوفية في التربة تأثيرًا سلبيًا على الخرسانة المطمورة في الارض. فالوسط الحامضي، وإن كان معتدل الحامضية، يؤدي إلى صدأ المعادن وهو ما يفسر ضرر الحامضية**

على الخرسانة المسلحة. هناك نوع من الترابط بين الرقم الهيدروجيني (PH) ونسبة الكبريتات. وقد ثبت أنه اذا كانت قيمة الرقم الهيدروجيني أقل من 4.3 مع نسبة عالية من الكبريتات، فإنه يعد دليلا على وجود حامض الكبريتيك.

ج) محتوى الكلوريد: تساعد معرفة محتوى الكلوريد في المياه الجوفية أو في التربة على تحديد ما إذا كانت المياه الجوفية هي مياه بحر أو اذا كانت التربة قد تعرضت لمياه البحر. ويلاحظ في المناطق الساحلية في الشرق الأوسط أن تركيز ملح كلوريد الصوديوم في المياه الجوفية هو أعلى بكثير من تركيزه في مياه البحر، كما أن تركيزًا عاليًا للكلوريد قد يصادف في مناطق من التربة والصخور المنفذة التي لا يوجد اتصال بينها وبين البحر. ولا يتفاعل الكلوريد مباشرة مع الاسمنت كما هو الحال بالنسبة للكبريتات، ولكن تأثيره يقتصر على الاجزاء المعدنية التي قد يصل اليها وأهمها حديد التسليح وبالتالي يتسبب في تلف الخرسانة المسلحة وحدوث التشققات في اجزائها.

د) محتوى المواد العضوية: تتنوع المركبات العضوية التي قد توجد في التربة تنوعًا كبيرًا تبعًا لتنوع مصادرها. فالمواد العضوية في التربة تتشكل من مخلفات الحيوانات والمزارع. وأما تأثير وجود هذه المواد العضوية على سلوك التربة فهو سلبي ومنها:

- ✓ يؤدي الى انخفاض قيمة قدرة تحمل التربة
- ✓ يؤدي الى ازدياد انضغاطية التربة
- ✓ يؤدي الى ازدياد احتمالات الانتفاخ والتقلص بسبب التغير في محتوى الرطوبة.
- ✓ وجود الغاز في فراغات التربة العضوية يمكن أن يؤدي لهبوط فوري (Immediate settlement)
- ✓ وجود الغاز يمكن أن يؤدي الى الحصول على قيم مغلوطة لمقاومة القص.
- ✓ يكون وجود المواد العضوية مصحوبًا بحامضية الوسط (قيمة PH الرقم الهيدروجيني منخفضة) وأحيانًا بوجود الكبريتات.
- ✓ وجود المواد العضوية في التربة المستعملة لأغراض التثبيت في الطرق له أثر ضار.

مما تقدم، تبرز أهمية تحديد محتوى المواد العضوية في التربة لتقرير ما يلزم اتخاذه من احتياطات.

ثالثاً: الخصائص الميكانيكية للتربة Mechanical characteristics

أن المقصود بالخصائص الميكانيكية للتربة، هو تلك الخصائص التي تعبر عن سلوك التربة تحت تأثير الأحمال المختلفة. فعندما تتعرض التربة لتأثير الأحمال الناتجة من وزن المبنى فوقها فإنها تنضغط وتتراص حبيباتها أكثر على حساب الفراغات الموجودة فيها، وهذه العملية تدعى بالانضغاطية Consolidation.

وبما أن حجم الفراغات الموجودة في تركيب التربة محدود ويتناقص مع زيادة الحمل الضاغط، فإن الذي يحدث عندما تتلاشى الفراغات مع ازدياد الحمل العمودي هو أن حبيبات التربة تبدأ بالانزلاق الواحدة فوق الاخرى ويحصل ما يدعى بالقص Shear. وأما ما يحصل اذا استمرت زيادة الحمل المؤثر على التربة بعد مرحلة القص فهو الانهيار (Failure). ومن هنا تبرز أهمية الدراسة المستفيضة لخصائص التضاغط، وللتربة الطينية بالتحديد، وذلك للحصول على المعطيات اللازمة لحساب قيمة الهبوط الكلي للمبنى ودراسة ظاهرة الهبوط مع الزمن. وكذلك الحال بالنسبة لفحوصات القص، التي تمّكن من الحصول على القيم اللازمة لحساب قدرة تحّمل التربة وقوة التماسك بين الحبيبات Cohesion وهي قيم ضرورية لدراسة الجدران الساندة واتزان المنحدرات الترابية وغيرها.

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل السادس : المياه في الطبيعة

1. تعريف المياه

تعتبر المياه العصب الحيوي للحياة على الكرة الارضية. حيث تغطي المياه 71% من سطح الكرة الارضية وتتألف نت ذرتي هيدروجين وذرة اوكسجين واحدة H_2O . وتكون اما على شكل مياه سطحية كالبحار والمحيطات والخلجان والبحيرات والانهار، او بشكل خزين مائي محصور في طبقات الارض وهو ما يعرف بالمياه الجوفية. وللمياه اهمية كبيرة:

أ) تعتبر مصدراً رئيسياً لحاجة الانسان (شرب ، صناعة ، زراعة).

ب) بحث ودراسة تأثيرها في نحت وجه الارض وخاصة المياه السطحية الجارية.

ج) معرفة منسوب المياه الجوفية لغرض تقليل تأثيره على البنى التحتية للمشاريع العمرانية.

د) اجراء الفحوصات المختبرية على المياه لمعرفة عناصرها الكيميائية وبيان صلاحيتها للاستعمال.

2. دورة المياه في الطبيعة (الدورة الهايدرولوجية)

تعتبر المحيطات المصدر الاساسي للمياه في الطبيعة. وكما موضح في الشكل رقم (6 – 1) فأن المياه تتبخر من المحيطات بسبب الطاقة الحرارية الشمسية مما يؤدي الى تكوّن الغيوم نتيجة تكاثف بخار الماء في طبقات الجو العليا. ثم تتساقط الامطار والثلوج ليعود قسم كبير من المياه (90% منها) مرة اخرى مباشرة الى المحيطات. اما الجزء الاخر (10% المتبقي) هو الذي يهمنا، فأنه يتساقط على اليابسة مكوناً الانهار والجداول. ويمكن تقسيم الجزء المتساقط من الامطار على اليابسة الى ثلاثة اقسام:

أ) المياه المتبخرة: وهو الجزء الذي يتبخر مباشرة او يتم طرحه من قبل النباتات بعملية النتح.

ب) المياه الجوفية: وهو الجزء الذي تمتصه الارض ثم يعود قسم منه الى الجريان بواسطة الينابيع.

ج) المياه الجارية: وهو ما يجري على السطح من مياه ويشكل اقل من ربع المياه المتساقطة على اليابسة.

شكل (6 – 1) دورة المياه في الطبيعة

وكما ذكرنا سابقاً بالامكان تصنيف المياه الى مياه سطحية (وتشمل البحار والمحيطات والانهار والبحيرات) ومياه جوفية (وهي اما محصورة في باطن الارض او تظهر لاحقا بشكل ينابيع وعيون). وبما اننا نعيش على اليابسة لذا ما يهمنا هو ما نتعامل معه (الانهار والمياه الجوفية) قبل وبعد تشييد المباني والمنشأت الاخرى كالجسور والسدود.

3. مياه الانهار

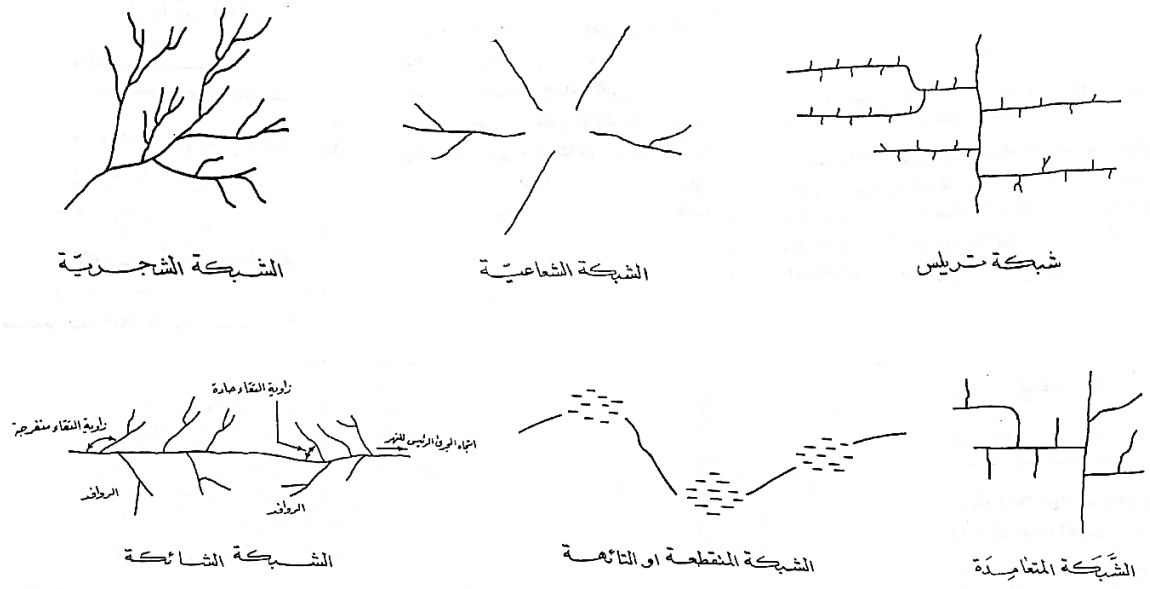
1.3 الانماط التي تتخذها مجاري الانهار

يتغذى النهر من روافده التي تجمع مياهها من الامطار وذوبان الثلوج. ونتيجة اختلاف مستوى التضاريس فأن المياه تتحرك نحو الاسفل بفعل الجاذبية الارضية (كأي جسم اخر) وما دام هناك انحدار فأن الماء سيجري باتجاه ذلك الانحدار وهذا مايسبب حركة مياه الانهار. لذا فأن الاشكال التي يتخذها مجرى النهر تعتمد بالدرجة الاولى على طبيعة الصخور والتركيب الجيولوجي للمنطقة، بالاضافة الى التاريخ الجيولوجي للنهر نفسه.

ويمكن تلخيص اهم الانماط التي يتخذها مجرى النهر كما موضح في الشكل (6 – 2) ادناه على الرغم من اختلافها من نهر الى اخر تبعاً لزاوية التقاء الروافد وتفرعها ونوع الصخور التي تجري عليها:

اولا - <u>الشبكات النهرية</u> ونذكر على سبيل المثال منها:

1) الشبكة الشجرية: تشبه تفرع اغصان الشجرة وتمتاز بالعشوائية في اتجاهات المجرى وزوايا التقاء الروافد.
2) شبكة تريلس: شبكة ذات روافد طويلة متوازية وروافد اصغر منها عمودية عليها.
3) الشبكة المتعامدة: تتميز بتعامد روافد النهر اي انها تلتقي بزاوية 90 درجة.
4) الشبكة الشعاعية: تجري الروافد في منطقة مركزية مرتفعة الى الخارج بجميع الاتجاهات.
5) الشبكة الشائكة: يكون التقاء الروافد بزوايا مختلفة مع المجرى الرئيسي للنهر.
6) الشبكة المنقطعة او التائهة: ينقطع فيها مجرى النهر بسبب دخوله في جسم مائي كبير كبحيرة او مستنقع مثلا.



شكل (6 – 2) أشكال الشبكات النهرية

ثانياً - الالتواءات النهرية وهي تشبه المنحني الرياضي لدالة الجيب Sine حيث يكون لمجرى النهر جرف محدب والاخر مقعر ومجموعة نقاط لتحول التيارات المائية. يمكن ملاحظة هذه الالتواءات بسهولة في نهري دجلة والفرات خاصة في المناطق الوسطى والجنوبية من العراق. ان الفكرة السائدة عن تكوّن الالتواءات النهرية هي انه وجود اي عائق امام مجرى النهر يسبب تخلخلاً او تموجاً في اتجاه التيار الموازي لجرف النهر. وبالتالي انحراف التيار بإتجاه احد الجرفين سيسبب اصطدام التيار بذلك الجرف وتعريته وخلق بداية التواء. اما الجرف الاخر فيكون انعكاس لتيار الماء مما سيؤدي الى زيادة ترسيب ما يحمله النهر من عوالق عليه. الشكل (6 – 3) ادناه يوضح التواءات نهر الفرات المار بمدينة السماوة ومناطق التعرية والترسيب على جرفي النهر.

شكل (6 – 3) التواءات نهر الفرات في مدينة السماوة

2.3 العمليات الجيولوجية للأنهار

تقوم المياه الجارية بست عمليات رئيسية. ويمكن تعريف تلك العمليات كالتالي:

1) التعرية: وهي عملية نحت وتفتيت الصخور الواقعة على سفوح الوديان او ضفتي النهر او في قاعه ، فترتفع الرواسب او الحبيبات الموجودة كنتيجة مباشرة لحركة المياه الجارية. وقد وجد ان لسرعة جريان المياه علاقة كبيرة بحجم الحبيبات التي تستطيع رفعها (تعريتها). ونتيجة لاحتكاك الحبيبات الصلبة التي تحملها المياه مع بعضها يحصل تآكل في قاع النهر بالاضافة الى تكسير القاع الصخري للنهر. ومن عمليات التعرية الاخرى هي الاذابة بسبب التفاعل الكيمياوي بين الماء (وما يحويه من مذيبات كيمياوية) والمكونات المعدنية للصخور والحبيبات.
2) النقل: وهي عملية نقل المواد الناتجة من عمليات التعرية بالاضافة الى ما يضاف الى النهر من حمولة اخرى كأوراق او جذوع الاشجار خاصة في مواسم الفيضان.
3) الترسيب: وهي عملية وضع الحمولة النهرية بعد ان يفقد النهر القدرة على حمل تلك المواد في مكان ما وتحت ظروف معينة. ويطلق على هذه المواد مصطلح (الرواسب النهرية) التي تشمل فتات الصخور والمواد الغروية.
4) الاطالة: تتحقق اطالة مجرى النهر بعدد من العمليات منها: التعرية باتجاه المنبع وهي عملية مستمرة، وترسيب حمولة النهر في ارض يابسة جديدة (المصب)، وزيادة الالتواءات والتعرجات بسبب التعرية والترسيب.

5) التعريض: يحصل تعريض مجرى وادي النهر بصورة مستمرة بسبب عمليات التعرية التي يقوم بها النهر على ضفتيه.

6) التعميق: زيادة عمق وادي النهر تجري بسبب التعرية التي يمارسها النهر بصورة مستمرة حاملاً المواد الموجودة في قاع النهر وبالتالي تعميق المجرى والوادي معاً.

3.3 نواتج العمليات الجيولوجية للانهار

بعد شرح وفهم ميكانيكية العمليات الجيولوجية للانهار، بالامكان تلخيص بعض الظواهر والاشكال المهمة التي نشاهدها في احواض الانهار ومنها:

1) المساقط المائية (الشلالات): تتكون هذه الظاهرة بسبب هبوط مفاجئ في مجرى النهر بسبب وجود كتلة صخرية مقاومة للتعرية اكثر من الطبقة التي تحتها. وبتعرية الطبقة الثانية تتكون هوة عميقة تسقط فيها مياه النهر بصورة عمودية على شكل شلال. ومن الامثلة الشهيرة على ذلك شلال كلي علي بيك في شمال العراق وشلالات نياكارا على الحدود الكندية – الامريكية.

2) المسارع المائية: وهي ظاهرة شبيهة بالشلالات لكن مسقطها ليس عمودياً وانما منحدر بصورة شديدة حيث تبدو فيه مياه النهر متسارعة وفوارة. ومن امثلتها مسارع بيخال واحمد آوة في شمال العراق.

3) السهول الفيضية: وهي من الاشكال النهرية الشائعة التي تكون منبسطة نسبيا ويتراوح عرض السهل فيها بين 1 كم الى مئات الكيلومترات ويتميز بأشكال وانواع خاصة من رواسب الحصى والرمل. ومن امثلتها السهول الفيضية لنهر ديالى (منطقة الصدور) ونهر العظيم والزاب الاعلى والاسفل.

4) الدلتا: هي منطقة دخول النهر الى جسم مائي راكد مثل البحيرة او البحر، فيتوقف النهر عن الجريان بصورة مفاجئة ويرّسب ما يحمله من عوالق في مصبه. ويكون سهل الدلتا على شكل مثلث الدلتا (Δ) رأسه عند مصب النهر وقاعدته بإتجاه الجسم المائي الراكد. ومن الامثلة عليها دلتا النيل في مصر.

5) المخاريط النهرية: ظاهرة شبيهة بالدلتا الا انها تحدث في الانهار المنقطعة الجريان التي تخرج بصورة مفاجئة من الجبال الى السهول خصة في المناطق القارية مما يؤدي الى ترسيب اغلب حمولتها ومن ثم تغيير مجرى النهر.

6) المسطحات النهرية: سطوح مستوية تقع على طول جانب واحد من وادي النهر وعلى ارتفاع اعلى. واحيانا تتواجد في مجرى النهر جزر مستطيلة الشكل مكونة من رواسب الحصى والرمل. تتواجد بكثرة في المناطق الشمالية على طول وديان الانهار (الزاب الاعلى – الزاب الاسفل – نهر العظيم – نهر ديالى – نهر دجلة) بسبب الحركات الارضية في المنطقة الشمالية من العراق.

4. المياه الجوفية

وهي جزء من دورة المياه في الطبيعة وتشكل حوالي 0.6% من المياه الموجودة على سطح الارض. ولها اهمية كبيرة للاسباب التالية:

أ) تعتبر المصدر الوحيد للحياة في المناطق التي تفتقر وجود الانهار او اي شكل اخر من اشكال المياه السطحية العذبة.

ب) ضرورة دراسة ارتفاع وانخفاض منسوب المياه الجوفية وتقليل تأثيره على البنى التحتية للمشاريع العمرانية المقامة على الارض.

ج) تكون اقل تلوثاً من المياه السطحية الجارية.

د) ضرورة اجراء الفحوصات المختبرية على المياه الجوفية كأختبار الحامضية PH للتأكد من صلاحيتها للاستخدام.

1.4 مصادر المياه الجوفية

يمكن تعريف كل مصدر من مصادر المياه الجوفية كما موضح في المخطط (6 – 4) ادناه بالاضافة الى خصائصها:

شكل (6 – 4) مصادر المياه الجوفية

2.4 عمق وحركة المياه الجوفية

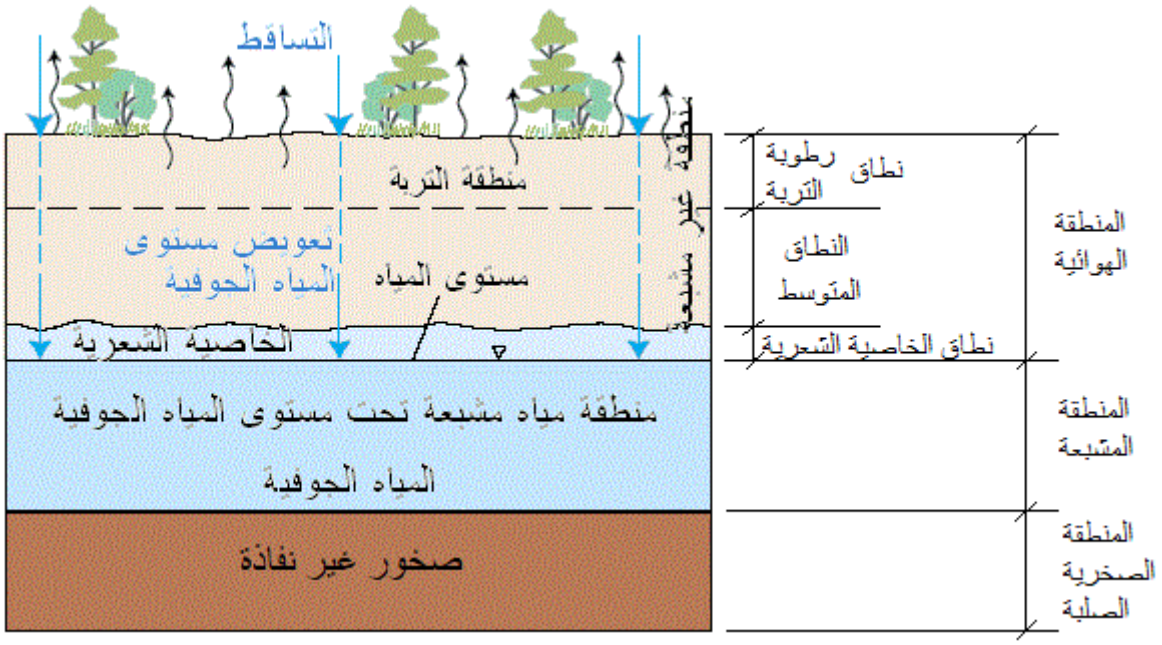
تتواجد المياه الجوفية عمودياً تحت سطح الارض في المنطقة المشبعة كما مبين في الشكل (6 – 5). تبدأ هذه المنطقة اسفل نطاق الخاصية الشعرية الذي هو منسوب المياه الجوفية Water table حيث انه خط وهمي يتعادل فيه الضغط الجوي والضغط الهيدروستاتيكي وهو الحد الاعلى الذي تصله المياه الجوفية عند حفر بئر.

اما المنطقة الهوائية من سطح الارض فتتكون من ثلاث نطاقات رئيسية (كما موضح بالشكل (6 – 5)) تمتاز جميعها بقلة المياه التي لا تكفي لملئ الفراغات والمسامات بين الرواسب والصخور. وهي:

أ) نطاق رطوبة التربة: ويقع بين سطح الارض ونهاية جذور النباتات ويتغير سمكه مع اختلاف نوعية التربة ونوعية الغطاء النباتي.

ب) النطاق المتوسط: يتوسط المنطقة بين نطاق رطوبة التربة ونطاق الخاصية الشعرية وتمتاز مياهه بكونها غشاء يحيط بحبيبات التربة. قد يصل سمك هذا النطاق احياناً الى 500 متر في المناطق الجافة او قد ينعدم في المناطق التي يكون فيها منسوب المياه الجوفية عالياً.

ج) نطاق الخاصية الشعرية: يفصل هذا النطاق بين الطبقة الهوائية والمنطقة المشبعة. تعتمد حركة المياه الجوفية في هذا النطاق على الخاصية الشعرية للرسوبيات المختلفة. قد يصل سمك هذا النطاق الى 1 سم في حالة وجود رسوبيات خشنة كالحصى، او قد يصل الى عدة امتار في حالة كون الرسوبيات من مادة الطمى (الطين).



شكل (6 – 5) عمق المياه الجوفية

اما حركة المياه الجوفية فإنها تتأثر بصورة رئيسية على نفاذية التربة والميل الهيدروليكي (هو فرق الارتفاع بين نقطتين مقسوما على المسافة بينهما). فكلما زادت النفاذية والميل زادت سرعة المياه الجوفية والعكس صحيح. حيث تزداد سرعة المياه الجوفية بمقدار 15 متر او اكثر سنوياً في التربة الرملية. حيث يكون هناك نوعان من الجريان للمياه الجوفية وهما: الجريان الصفيحي والجريان المضطرب، وان اغلب جريان المياه الجوفية هو من النوع الاول.

3.4 العوامل المؤثرة على منسوب المياه الجوفية

1) **تنخفض مناسيب المياه الجوفية في موسم الجفاف وترتفع في موسم الامطار.**
2) **استخراج المياه الجوفية للاغراض المختلفة يقلل من مناسيبها.**
3) **زيادة ضخ المياه الجوفية يؤدي الى انهيار الخزانات الارضية وتغيير في مسامية ونفاذية التربة.**
4) **تنخفض مناسيب الآبار المحفورة بإرتفاع الضغط الجوي والعكس صحيح.**
5) **بعض الانهار تغذي المياه الجوفية والعكس صحيح.**
6) **تبخر المياه الجوفية اذا كانت قريبة من سطح الارض عن طريق الخاصية الشعرية.**
7) **تنخفض مناسيب المياه الجوفية بسبب امتصاص الماء من قبل جذور النباتات .**
8) **تتأثر مناسيب الآبار المحفورة بالمد والجزر.**
9) **تتأثر مناسيب المياه الجوفية في الآبار المحفورة بالضغط الحاصل من الزلازل والذبذبات الناتجة عن حركة القطارات والطائرات في المناطق المجاورة.**

4.4 نوعية المياه الجوفية

عند اجراء مقارنة بين المياه الجوفية والمياه السطحية (كالأنهار مثلا)، يتبين ان المياه الجوفية تحوي على نسبة عالية من الاملاح احياناً بسبب بطئ جريانها بين الطبقات الصخرية مما يساعد على زيادة تركيز الاملاح المذابة. وعادة ما يتم جمع عينات من مياه الابار بواسطة اجهزة خاصة وتحفظ لاحقاً في قناني نظيفة محكمة الغطاء يسجل عليها موقع البئر وقطره وتاريخ أخذ العينة. ثم تجرى عليها مجموعة من الفحوصات والتحاليل الدقيقة لمعرفة كمية ونوعية الاملاح وتقدير الغاية من استعمال تلك المياه فيما اذا كانت صالحة للشرب او الري او لاغراض صناعية حسب المواصفات الخاصة والمطلوبة لكل نوع من تلك الصناعات. وندرج ادناه شرحاً مختصراً لأنواع التحاليل المختبرية:

أ) التحاليل الفيزياوية: وتشمل درجة الحرارة واللون المتأثر بوجود المواد العضوية او المعدنية التي تقارت بعينات ثابتة تستخدم كمقياس للالوان ودرجة التعكر. اما الطعم والرائحة فلا مقياس لهما ويعودان الى وجود فطريات او مواد عضوية متفسخة.

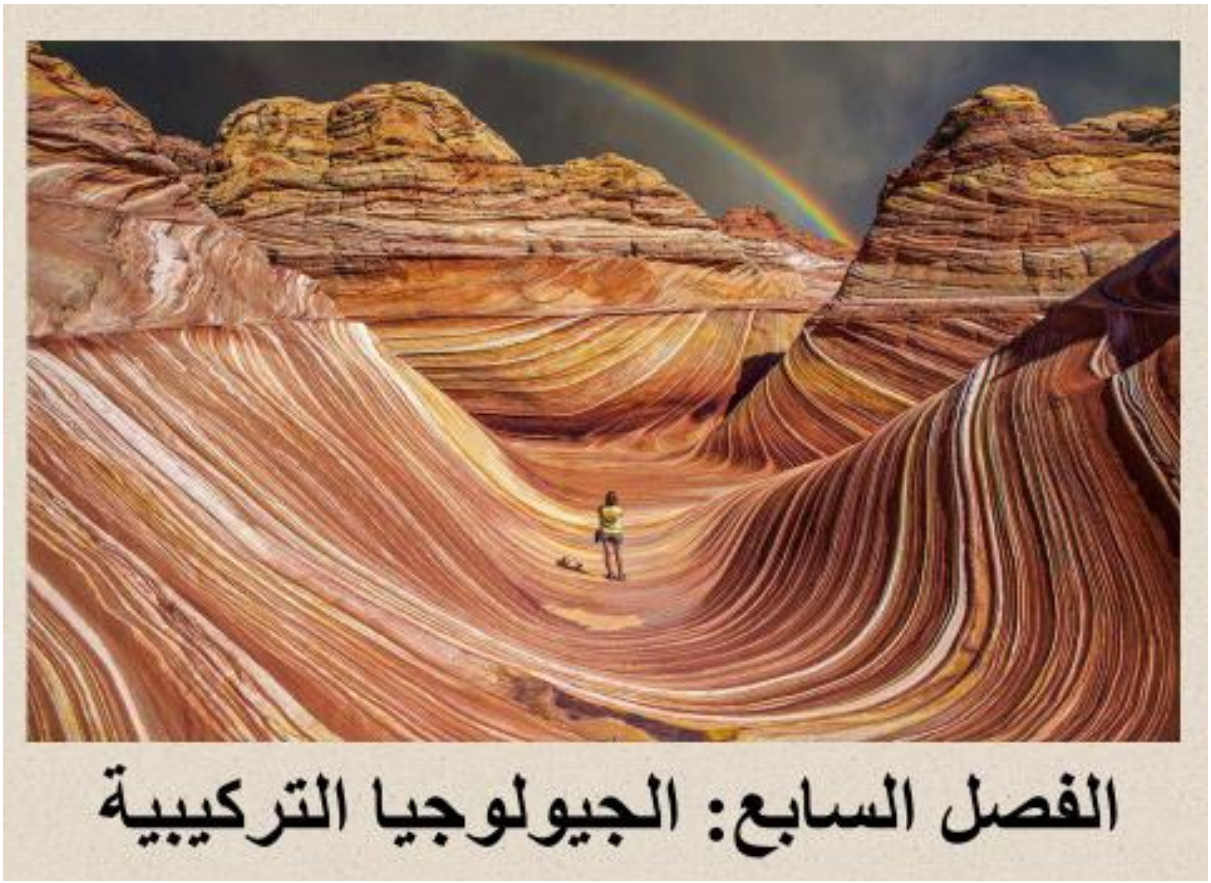
ب) التحاليل الكيمياوية: لغرض الكشف عن نوعية وكمية الاملاح الموجودة في المياه الجوفية لتأثير تلك الاملاح على التربة والمزروعات حتى لا تتحول الى اراضي بور بمرور الزمن بعد سقيها بتلك المياه. حيث يتم تعيين الايونات حسب قوتها (كالايونات الموجبة مثل ايونات الامونيوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، الزنك، الحديد، المنغنيز، الهيدروجين) (والايونات السالبة مثل الكلور، البروم، اليود، الكبريتات، البيكاربونات، الهيدروكسيد). واعتماداً على تقّبل المزروعات لتلك الايونات او مقاومتها لها تم تحديد نسبة 0.1% كنسبة معقولة ومقبولة لتواجد تلك الايونات في المياه الجوفية. فعلى سبيل المثال زيادة تركيز ايون الصوديوم تسبب زيادة قلوية التربة وتقليل نفاذيتها.

ج) التحاليل البايولوجية: وتشمل انواع البكتريا المرضية وغير المرضية والفيروسات والكائنات الاحادية الخلية. حيث يتم اجراء تلك التحاليل بصورة مستمرة على المياه للتأكد من خلوها من البكتريا الخطرة مثل E-coli. لذا يجب تطهير المياه قبل شربها اذا اختلفت عن المواصفات والشروط المطلوبة.

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية



الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل السابع : الجيولوجيا التركيبية

1. المقدمة

تعتبر الجيولوجيا التركيبية فرعاً مهماً من فروع علم الارض وتهتم بدراسة التشويه الحاصل في الصخور بسبب الزلازل والحركات الارضية بالاضافة الى مقدار تحمل الانواع المختلفة من الصخور لتلك الاحمال المسلطة عليها مع مرور الزمن. ونتيجة لهذه الظواهر الطبيعية نجد ان الطبقات الصخرية معرضة للتشويه والتصدعات واحيانا السحق وبالتالي ستصبح تلك الطبقات مائلة او مطوية او معرضة للتصدعات مما ينتج تكوينات جديدة للصخور الرسوبية. وهناك نوعان رئيسيان من الحركات الارضية وهما:

أ) الحركات الارضية البانية للقارات: وهي حركات بطيئة تستمر لأزمنة جيولوجية متعاقبة وتؤثر على أجزاء كبيرة من القارة أو قاع البحر كما تؤدي إلى ارتفاع أو هبوط الصخور الرسوبية دون أن تتعرض لأي تشوه. ومن أهم أمثلتها نشأة الأخدود العظيم لنهر كولورادو بأمريكا الشمالية.

ب) الحركات الأرضية البانية للجبال: وهي حركات سريعة ينتج عنها تشوه الطبقات الصخرية. ومن أمثلتها سلاسل الجبال الممتدة بشمال مصرمن قبة المغارة بشمال سيناء الى الواحات البحرية بالصحراء الغربية فيما يعرف بنظام القوس السوري.

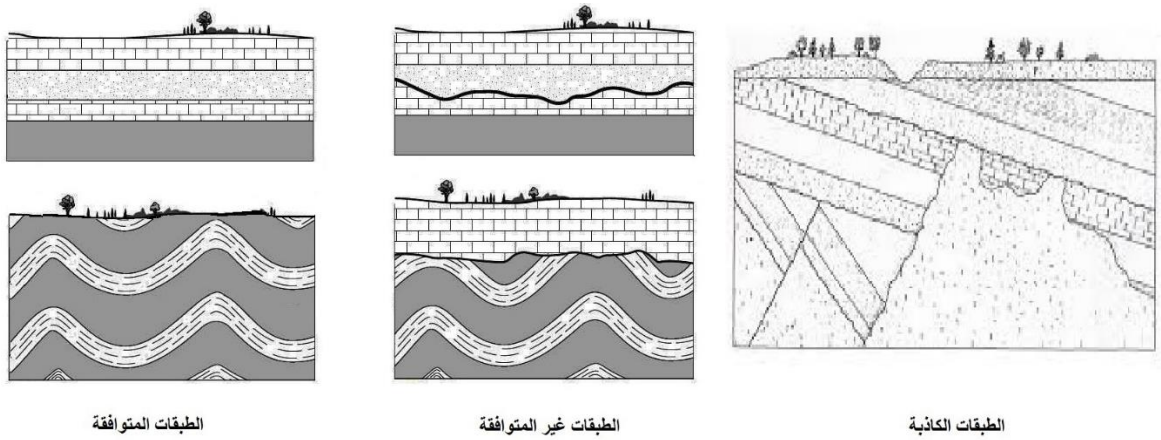
2. طبقات الصخور الرسوبية

يمكن تقسيم تكوينات الطبقات الصخرية الى ثلاثة اقسام رئيسية وكما مبين في الشكل (7 – 1):

أ) الطبقات المتوافقة: وهي الطبقات التي تترسب وفق نظام طبقي مستمر وثابت على طول فترة زمنية معينة. وتكون طبقاتها مرتبة بحيث ان الطبقات القديمة في الاسفل والطبقات الحديثة في الاعلى.

ب) الطبقات غير المتوافقة: وهي الطبقات التي لم تترسب وفق نظام طبقي متسلسل بل يتوقف او ينقطع الترسيب فيها لفترات زمنية معينة. وينتج عن ذلك الانقطاع تعرية وتآكل للسطح العلوي للطبقات القديمة او حركات ارضية مختلفة مثل الرفع والميلان. لذا تكون الطبقات الحديثة ذات ميل مختلف وسطحها غير منتظم بسبب عمليات التجوية والتعرية.

ج) الطبقات الكاذبة: وهي التي تتكون في حالات خاصة في مناطق معينة نتيجة تغيير في اتجاهات التيارات المائية اوالهوائية. لذا تكون فيها الطبقات مائلة باتجاهات مختلفة وقليلة السمك بالنسبة الى الطبقات الاصلية.

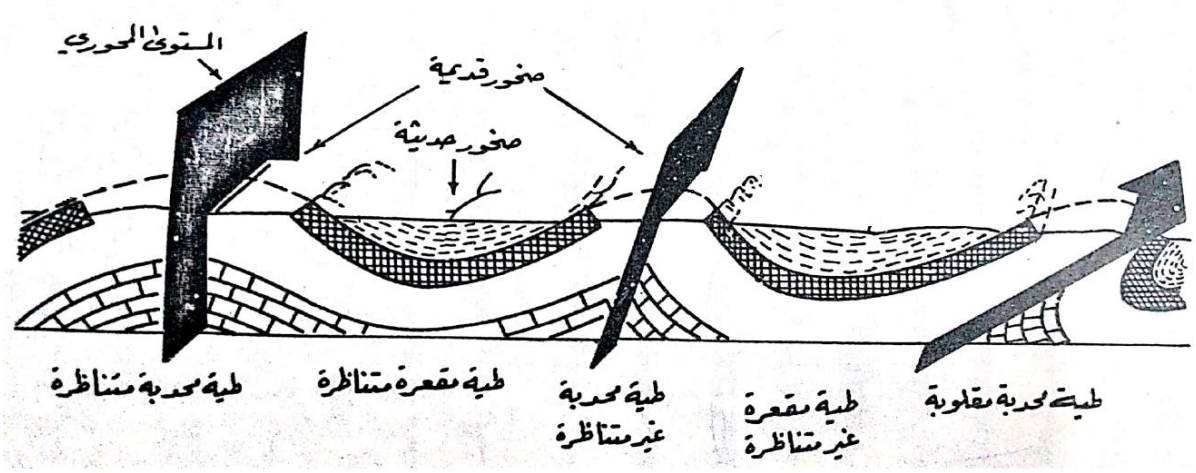


شكل (7 – 1) تراكيب الطبقات الصخرية

3. التراكيب الجيولوجية

1.3 الطيات Folds

عند تسليط ضغط على القشرة الارضية فإن طبقاتها الصخرية تتعرض للانثناء او الالتواء وتسمى حينها هذه الاشكال الصخرية بالطيات. ومن اشهر انواع الطيات هي الطية المحدبة التي يمر فيها المستوى المحوري بنقطة التقاء ميل الطبقات الصخرية والتي تمثل اقصى انحناء للطبقات. وتكون الطية محدبة الى الاعلى او مقعرة الى الاسفل حسب تشكيل الطبقات الصخرية كما مبين في الشكل رقم (7 – 2).



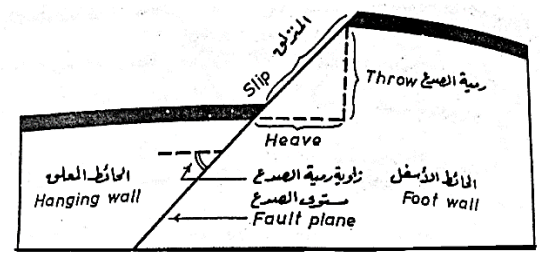
شكل (7 – 2) أشكال الطيات

2.3 الصدوع Faults

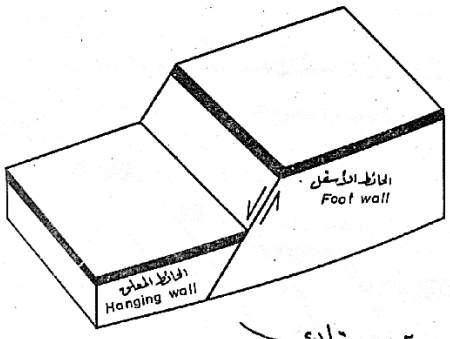
تتواجد الصدوع في جميع انواع الصخور لكنها تظهر بصورة واضحة في الصخور الرسوبية. ويُعرّف الصدع على انه كسر في صخور القشرة الارضية تحرك احد جانبيها نسبة الى الجانب الاخر حركة موازية لمستوى الكسر وتتراوح الحركة من عدة سنتميترات الى عدة كيلومترات. ويسمى المستوى الذي تحصل الحركة على امتداده بمستوى الصدع. وقد تكون مستويات الصدوع مائلة او رأسية او حتى افقية كما موضح في الشكل رقم (7 – 3).

3.3 الفواصل Joints

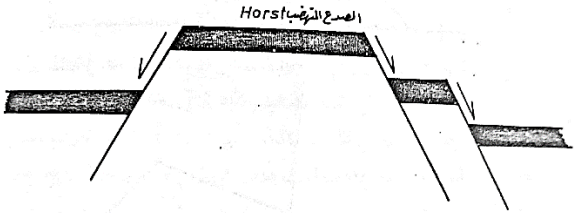
هي عبارة عن كسور في الارض ليست عليها اية حركة ظاهرية وتحصل عادة في الصخور الهشة بفعل الضغط والشد وتكون اما عمودية او مائلة بزوايا اقل من 90 درجة كما مبين في الشكل (7 – 4). وتتواجد في الطبيعة بهيئة مجاميع في مكان واحد او عدة اماكن. ومن الممكن تصنيفها الى فواصل قص Shear تتكون بفعل قوى متجهة بموازاة مستوى الفاصل، وفواصل شد Tension تتكون بسبب قوى شد بإتجاه عمودي على مستوى الفاصل.

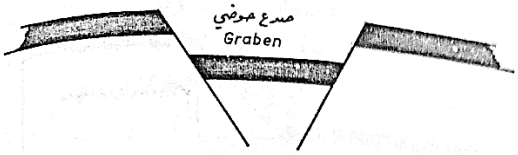


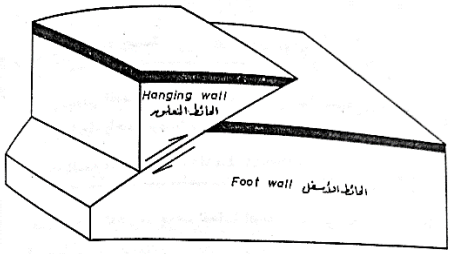
مقطع يبين مستوى صدع اعتيادي وطريقة قياس الحركة عليه .



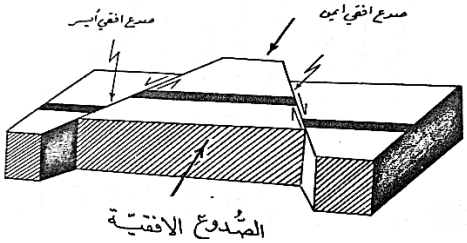
صدع إعتيادي



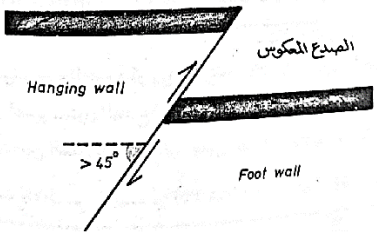


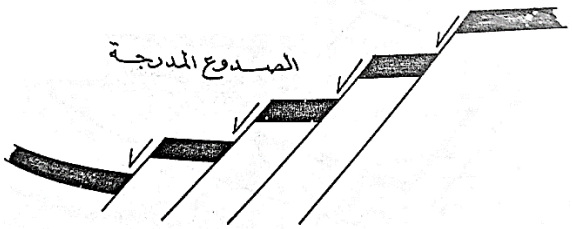


صدع ناحف

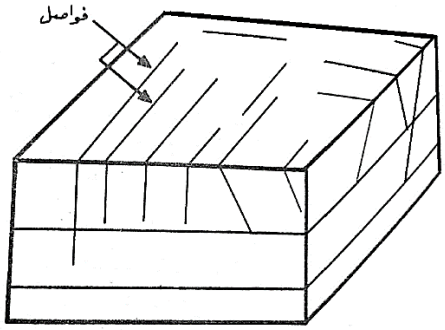


الصُدوع الافقية





شكل (7 – 3) انواع الصدوع الارضية



شكل (7 – 4) الفواصل الصخرية

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل الثامن : الزلازل والبراكين

1. المقدمة

تتحرك الصفائح العليا من القشرة الارضية بفعل الطاقة الحرارية الهائلة للارض، وهذه الطاقة تكون كافية لعودة تلك الصفائح الى باطن الارض مرة اخرى وإحداث الزلازل والبراكين وتكوّن الاخاديد المحيطية واحواض الترسيب. لذا يكون لزاماً على عالم الارض او مهندس الجيولوجيا ان يقوم بإستنتاج الامور التالية:

1. الصفات الباطنية للارض
2. مؤشرات حركة الصفائح التكتونية
3. المواد المخزونة في البراكين
4. قياسات الحرارة الارضية
5. التغيرات في المجال المغناطيسي والجاذبية الارضية
6. سرعة الموجات الزلزالية

2. الزلازل او الهزات الارضية Earthquakes

وهي من اعنف الظواهر الطبيعية الناتجة عن حركة اهتزازية وموجية في الصخور القريبة من سطح الارض يعقبها تحرر الطاقة المخزونة في باطن الارض. وتسمى النقطة التي يحصل فيها الزلزال في جوف الارض بالبؤرة، اما النقطة على سطح الارض التي تقابل مركز الزلزال فتسمى بالمركز السطحي للزلزال. وقد يستغرق الزلزال من بضعة ثوان الى عدة دقائق في الزلازل العنيفة ويكون الدمار الناتج عنه هائلا. وتحصل الزلازل في احد الحالات التالية:

1. ثورة البراكين او اختراق الصهير البركاني (magma) للقشرة الارضية.
2. حصول انهيارات هائلة في المناجم والكهوف التي تتواجد في طبقات مختلفة من القشرة الارضية.
3. سقوط نيزك هائل وارتطامه بسطح الارض.
4. اجراء التفجيرات الصناعية (الكيمياوية او النووية) التي تحدث موجات تشابه الزلازل الطبيعية.
5. الازاحة الناتجة عن الصدوع وتسمى حينها بالزلازل البنائية.

ويعقب حصول الهزات الارضية الاضرار التالية:

1. خسائر هائلة في الارواح البشرية.
2. تخريب الابنية والمنشأت المأهولة.
3. حدوث الشقوق والانفصالات في قشرة الارض اضافة الى الانهيارات الارضية والجليدية.
4. ظهور الينابيع او اختفائها.
5. تغيير في مستوى سطح البحر وحصول موجات تسونامي المدمرة للمدن.

كما ان الزلازل او الهزات تختلف من منطقة الى اخرى اعتمادا على عدة عوامل منها: طبيعة تشكل الطبقات الارضية وعمقها ونوع الصخور وكمية الطاقة المتحررة من باطن الارض. وتتواجد الاحزمة الزلزالية سوية مع الفوهات البركانية والسلاسل الجبلية الحديثة التكوين مما يعطي صورة واضحة عن ان هذه الهزات ما هي الا انعكاس لديناميكية الارض.

3. تصنيف وقياس الزلازل

أ) تصنف الزلازل حسب عمق البؤرة الى ثلاثة مجاميع:

- ✓ الزلازل الضحلة: وتكون على اعماق لا تتجاوز 50 كم
- ✓ الزلازل المتوسطة: يقع عمق البؤرة الزلزالية بين 50 – 250 كم
- ✓ الزلازل العميقة: وتقع على اعماق كبيرة بين 250 – 700 كم

ب) تصنف الزلازل اعتمادا على الكمية المطلقة للطاقة المتحررة عند حصول الزلزال وتسمى حينها بالمقدار الزلزالي. وقد استنبط العالم رختر هذا المقياس المطلق والذي تتراوح درجاته بين 0 – 8.7 وتتدرج من زلازل صغيرة الى زلازل كبيرة.

ج) تصنف الزلازل وفقاً للشدة الزلزالية حسب درجة التخريب او الدمار الذي يحدثه الزلزال. ومن اكثر مقاييس الشدة الزلزالية شيوعا هو مقياس ميركلي الذي يقسم الى 12 قسماً يكون تأثير الزلازل في الشدة (رقم 1) قليل الى درجة لا يشعر بها بدون جهاز التسجيل الزلزالي، ويتدرج في الشدة وصولا الى الشدة (رقم 12) الذي يعكس تدميرًا كاملاً للمباني والمنشأت.

4. الخارطة الزلزالية للعراق والإعتبارات البيئية

يقع العراق على الحدود الشمالية الشرقية للصفيحة التكتونية العربية التي تتميز بخط شبه مستمر من البؤر الزلزالية على طول سلسلة جبال طوروس – زاكروس المحاذية للحدود العراقية التركية والعراقية الايرانية. ويعتبر هذا الخط جزء من حزام جبال الالب همالايا المعروف بالتاريخ الزلزالي المسجل.

ولتجنب الاضرار المادية والبشرية في مواقع حدوث الزلازل او اكثرها احتمالاً، يجب العمل على الاتي :

1. تقسيم المناطق الى اقاليم (zones) تبعا لاحتمالات الشدة الزلزالية المتوقعة.
2. اخلاء المواقع المحتمل تأثرها بالنشاط الزلزالي من السكان.
3. تجنب انشاء المنشأت والمشاريع الضخمة في المناطق التي تتأثر دوماً بالفعاليات الزلزالية.
4. اعداد التصاميم المقاومة للزلازل ودراسة سبل انقاذ المصابين عند حدوث الكوارث الزلزالية.
5. العمل على نشر الوعي البيئي حول اثار الكوارث الطبيعية كالزلازل والبراكين وموجات تسونامي.

5. تعريف البراكين Volcanoes

وهي ذلك المكان الذي تخرج أو تنبعث منه المواد الصهيرية الحارة مع الأبخرة والغازات المصاحبة لها على عمق من والقشرة الأرضية ويحدث ذلك خلال الفوهات او الصدوع او الشقوق الارضية. وتتراكم المواد المنصهرة أو تنساب حسب نوعها لتشكل أشكالا أرضية مختلفة منها التلال المخروطية أو الجبال البركانية العالية.

تعتبر البراكين من الظواهر الطبيعية التي تحدث لتخفيف حدة الحرارة والضغط الداخلي الموجود في أعماق سطح الأرض، فالبركان يتكون نتيجةً لانخفاض كثافة الحمم المصهورة في باطن الأرض بالنسبة لكثافة ما يُحيط بها من صخور، مما يؤدي إلى ارتفاع تلك الصهارة للسطح او لأعماق تُحددها كثافة الصهارة ووزن الصخور التي تحيط بها، فيبدأ التدفّق نتيجة الضغط الناتج عن الغاز الذائب في الصهارة مما يؤدي إلى خروجها إلى سطح الأرض وارتفاعها لمسافات عمودية قد تكون كبيرة مصحوبة بالابخرة والغبار البركاني.

6. التوزيع الجغرافي للبراكين

تنتشر البراكين في نواحي متعددة على سطح الأرض، وهي تتبع في معظم الحالات خطوطا معينة تفصل بين الصفائح التكتونية وابرزها النطاق الذي يحيط بسواحل المحيط الهادي والذي يعرف أحيانا بحلقة النار، فهو يمتد على السواحل الشرقية من ذلك المحيط (فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسيك، وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية إلى جزر الوشيان ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا إلى جزر اليابان والفليبين ثم إلى جزر إندونيسيا ونيوزيلندا).

يوجد الكثير من البراكين في المحيط الهادي وبعضها ضخم جداً نشأ في قاعه وظهر فوق مستوى مياهه. ومنها براكين جزر هاواي التي ترتكز قواعدها في المحيط على عمق نحو 5000 م، وترتفع فوق سطح مياهه لأكثر من 4000 م وبذلك يصل ارتفاعها الكلي من قاع المحيط إلى قممها نحو 9000 م. وتبين النقاط الحمراء في الصورة ادناه مواقع البراكين النشطة حول العالم.

شكل رقم (8-1) التوزيع الجغرافي للبراكين

7. الاجزاء الرئيسية للبركان

يتكوّن البركان من الأجزاء الرّئيسية الآتية:

1. الحجرة الصّهاريّة: هي الحوض الدّاخلي للبركان حيث تتجمّع الحمم والغازات.
2. المدخنة: أنبوب تندفع عبره الحمم البركانية من الحجرة الصّهاريّة إلى السّطح، وقد يحتوي البركان على مدخنة واحدة، أو مدخنة رئيسية مرتبطة بمدخنة فرعيّة أو عدة مداخن فرعيّة.
3. عنق البركان: فتحة، أو عدة فتحات منها واحدة فقط رئيسيّة توجد على سطح البركان، وتنبعث منها الحمم، أو الغازات، أو الرّماد، أو المواد البركانيّة الأخرى.
4. الفوهة: هي الفتحة العليا في البركان، وتتكوّن نتيجة اندفاع الحمم البركانيّة للأعلى.
5. المخروط البركاني: جوانب البركان المنحدرة المكونّة من الحمم البركانية، حيث تعتمد درجة انحدارها على نوع النّشاط البركاني، وطبيعة المقذوفات التي تندفع من فوهة البركان.

8. قياس النشاط البركاني

تقسم البراكين تبعاً لنشاطها إلى ثلاثة أنواع، وهي كالآتي:

أ) البراكين النشِطة: لا يُشترط أن يكون البركان النشِط في حالة ثوران فعلي كي يُصنف تحت هذا النوع، فالبراكين النشطة هي تلك البراكين التي استطاع العلماء أن يقوموا بتسجيل نشاط بركاني لها خلال تاريخ توثيق البراكين، ويوجد على الأرض ما يقارب 600 بركان نشط، تثور بشكل دوري في فترة تتراوح من 50 إلى 60 عاماً.

ب) البراكين الخامدة: وهي ذلك النوع من البراكين الذي لا يحتوي على أية علامات تُشير إلى أنه قد حدث له ثوران أو نشاط حديث أو حتى قديم، ويُتوقع أنه من غير المرجح أن ينفجر مرة أخرى.

ج) البراكين الساكنة: وهي ما يُعرف بالبراكين الخاملة، وهي تلك التي تحتوي على أدلة جيولوجية تُشير إلى أن هناك نشاطاً بركانياً قد حدث في الماضي ولكنه حدث قبل فترة تسجيل الأنشطة البركانية، ويُعتبر هذا النوع خطراً على سكان المناطق المحيطة به، إذ يصعب إقناعهم بوجود علامات تُشير إلى انه قد يتجدد نشاط البركان الذي كان خاملاً وساكناً لفترة طويلة من الزمن الجيولوجي.

9. الآثار الناجمة عن البراكين

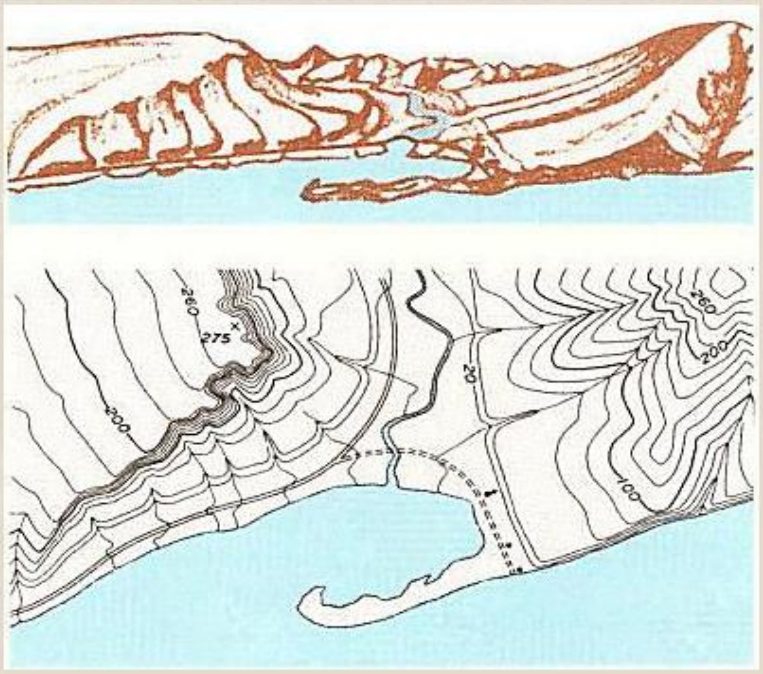
يوجد العديد من المخاطر المُباشرة التي قد تترتب على ثوران البراكين وانفجارها، يمكن تلخيصها كالآتي:

1. تُعتبر الحمم البركانية وال التي تنتج عن الثوران خطراً داهماً على كل ما يصادف طريقها مسببة الحرق والاختناق، بسبب انتشارها بسرعات قد تصل إلى 64 كم في الساعة.
2. يُمكن أن يُؤدي انفجار البراكين الى حدوث الانهيارات الجليدية والأرضية.
3. يُسبب تساقط الرماد البركاني تسمماً زراعياً لبضعة أعوام بعد حدوثه، وتُعتبر الغازات السامة التي ترافق ثوران البراكين خطراً على الكائنات الحية من خلال استنشاقها او ابتلاعها مباشرة.
4. تلوُث مصادر المياه بالرماد والمواد الناتجة عن البراكين وقد تستمر آثارها لأعوام. وقد تؤدي الثورات البركانية إلى حدوث فيضانات في المناطق التي تعرضت لإنسداد في شبكاتها المائية والصحية.
5. تتسبب البراكين بحدوث ما يُعرف بموجات التسونامي التي تنتج من خلال تدفق الحمم البركانية إلى البحر.
6. تتسبب البراكين بالعديد من التغييرات التي قد تحدث للغلاف الجوي، ويعود ذلك إلى الغازات التي يتم إطلاقها في الهواء بشكل قد يؤدي الى تبريد الغلاف الجوي وتقليل درجة حرارة الجو.
7. يمكن استغلال الحرارة البركانية الكامنة داخل الأرض لتوليد الطاقة الحرارية من طاقة البراكين.
8. تُعتبر البراكين مصدراً مهماً لاستخراج العديد من المعادن والخامات المتنوعة كالذهب والفضة والرصاص والزنك والنحاس.
9. تُساعد البراكين على جعل الأرض والتربة أكثر خصوبة بحيث يُمكن الاستفادة من زراعتها بأنواع مختلفة من النباتات والمحاصيل الزراعية.

جامعة المثنى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية



الفصل التاسع : علم الخرائط

الجيولوجيا الهندسية

المرحلة الاولى

مدرس المادة : د. نورانس المكرم

الفصل التاسع : علم الخرائط

1. المقدمة

تمثل الخريطة منظر فوقي لجزء مصغر من سطح الارض او اية اشكال طبيعية (تضاريس) على هيئة مستويات افقية مرسومة وفق مقياس رسم معين. وعادة تستعمل الخريطة لتسهيل مهمة الجيولوجي او المهندس وذلك بإستخدامها كلوحة اساس لتوّقع النتائج والمشاهدات الجيولوجية، مثلا: مناسيب الارض، انواع الصخور والتربة التي تدخل في صناعة مواد البناء ، تواجد المياه الجوفية، تواجد المعادن وغيرها من الثروات الاقتصادية. عند رسم خريطة جيولوجية او طبوغرافية، يجب توّفر العناصر الاساسية التالية:

1. العنوان: يمثل الغرض الاساسي الذي رسمت الخريطة من اجله. ويوضع العنوان عادة في اسفل او اعلى منطقة الرسم. على سبيل المثال: (خريطة جيولوجية لمنطقة السهل الرسوبي في العراق).
2. مقياس الرسم: يُعرف على انه النسبة بين الابعاد الخطية على الخريطة الى الابعاد الخطية على سطح الارض. ويكتب اما بالصيغة الكتابية البسيطة (مثلا: 1 سنتيمتر لكل 1 كيلومتر) او بالصيغة الكسرية (مثلا: 1000/1 او 1000:1 بمعنى 1 سم على الخريطة تعادل 1000 متر او كيلومتر على الارض).
3. مفتاح او رموز الخريطة: ويقصد بها استخدام الرموز والالوان لتوضيح الظواهر الطبيعية على الارض ودائما ماتكون تلك الرموز (مثلا رموز المعادن على الخريطة كالحديد والفوسفات) والالوان موحدة بالاتفاق (مثلا: اللون الاخضر يشير الى المناطق الزراعية في الخريطة واللون الاصفر يشير الى المناطق الصحراوية واللون البني الى المناطق الجبلية).
4. الموقع: ويقصد به استخدام الاحداثيات (كخطوط الطول والعرض) (او استخدام اسهم الشمال والجنوب والغرب والشرق) لتحديد الموقع في الخريطة التفصيلية.

2. تصنيف الخرائط

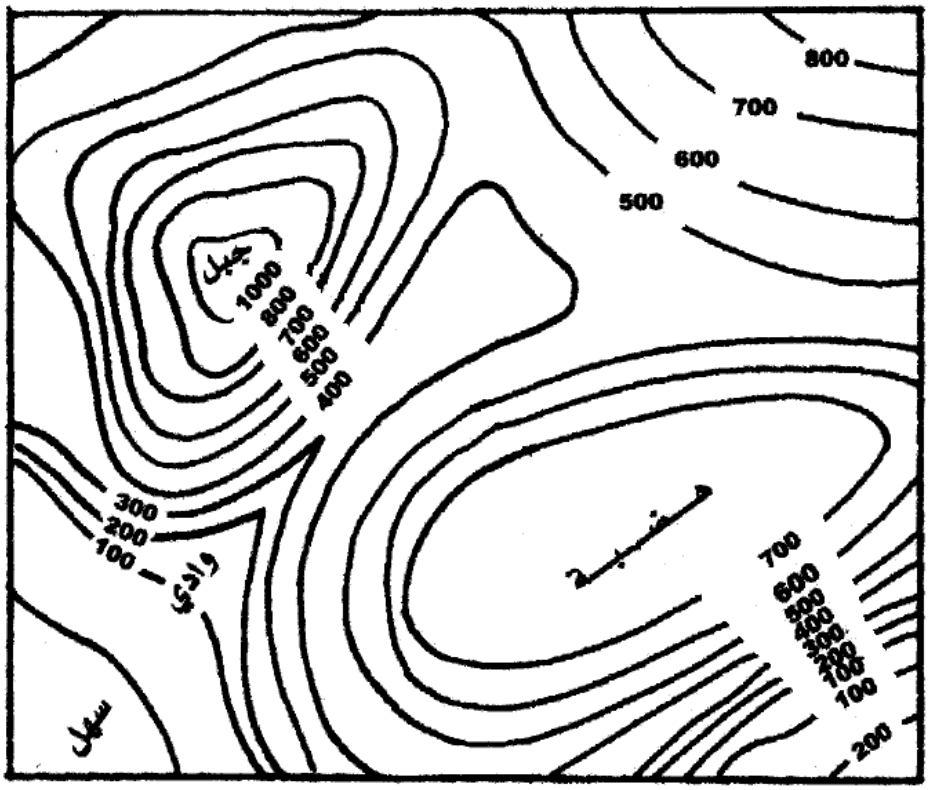
توجد انواع كثيرة من الخرائط تُرسم بحسب ما يطلب عرضه من معلومات عليها. وسنستعرض في هذا الفصل ثلاثة انواع رئيسية ذات اهمية كبيرة للمهندس المدني:

1. الخرائط التضاريسية: تستخدم بكثرة في الاطالس وتمثل الاشكال الطبيعية للارض كالجبال والسهول والوديان والتلال والهضاب وغيرها من المظاهر الطبيعية في اي مكان.
2. الخرائط الطوبوغرافية: وهي الخرائط التي توضح فيها مستويات الارتفاعات والمنخفضات لتضاريس الارض ويطلق عليها عندئذ الخرائط الكنتورية. كذلك تشمل الخرائط الطوبوغرافية المظاهر الحضارية للمدن كالمباني والمنشآت والطرق والجسور وخطوط السكك الحديدية.
3. الخرائط الجيولوجية: في هذا النوع من الخرائط يتم توضيح مكان ونوع الصخور على سطح الارض لمنطقة معينة. وايضا تحتوي الخريطة على معلومات عن علاقة الصخور ببعضها وتراكيبها البنائية كالصدوع والطيات والمناطق البركانية الساكنة والنشطة.

3. الخطوط الكنتورية Contour Lines

تعتبر الخطوط الكنتورية من اهم معالم الخرائط الطبوغرافية التي تستخدم للاغراض المدنية والعسكرية وذلك لتفسير الظواهر الطبيعية من مرتفعات ومنخفضات على سطح الارض او في البحار والمحيطات التي يمكن التعرف عليها من خلال تباعد او تقارب الخطوط الكنتورية. ومن اهم خصائص الخطوط الكنتورية:

1. جميع النقاط الواقعة على خط الكنتور لها نفس المنسوب وهو منسوب خط الكنتور. وتحسب مناسيب تلك النقاط بالنسبة لمستوى ثابت وهو مستوى سطح البحر الذي يكون منسوبه صفراً.
2. هناك مسافة ثابتة عمودية بين كل خطين كنتوريين متتالين يطلق عليها الفترة الكنتورية. مثلا اذا كانت الفترة الكنتورية 100 متر فالمناسيب تبدأ من 0، 100، 200، 300 وهكذا.. اما اذا كانت الفترة 50 متر فتبدأ المناسيب من 0، 50، 100، 150، 200، 250 وهكذا.
3. لا تتقاطع الخطوط الكنتورية مع بعضها ابداً إلا في حالات نادرة كالكهوف.
4. يجب ان تقفل خطوط الكنتور على نفسها او على حافة اللوحة.
5. تتقارب خطوط الكنتور في الانحدارات الشديدة وتتباعد كلما قل الانحدار.
6. كلما كانت خطوط الكنتور شديدة التعرج دل ذلك على وعورة الارض.
7. في حالات الاودية تكون خطوط الكنتورعلى شكل حرف V ويكون التقعر للأسفل، وفي حالات الهضاب تكون على شكل حرف U ويكون التقعر لأعلى، وفي حالة السهول تكون الخطوط الكنتورية غير منحنية ومستوية نوعا ما.



شكل (9-1) خارطة كنتورية تظهر عليها بعض المعالم الطوبوغرافية

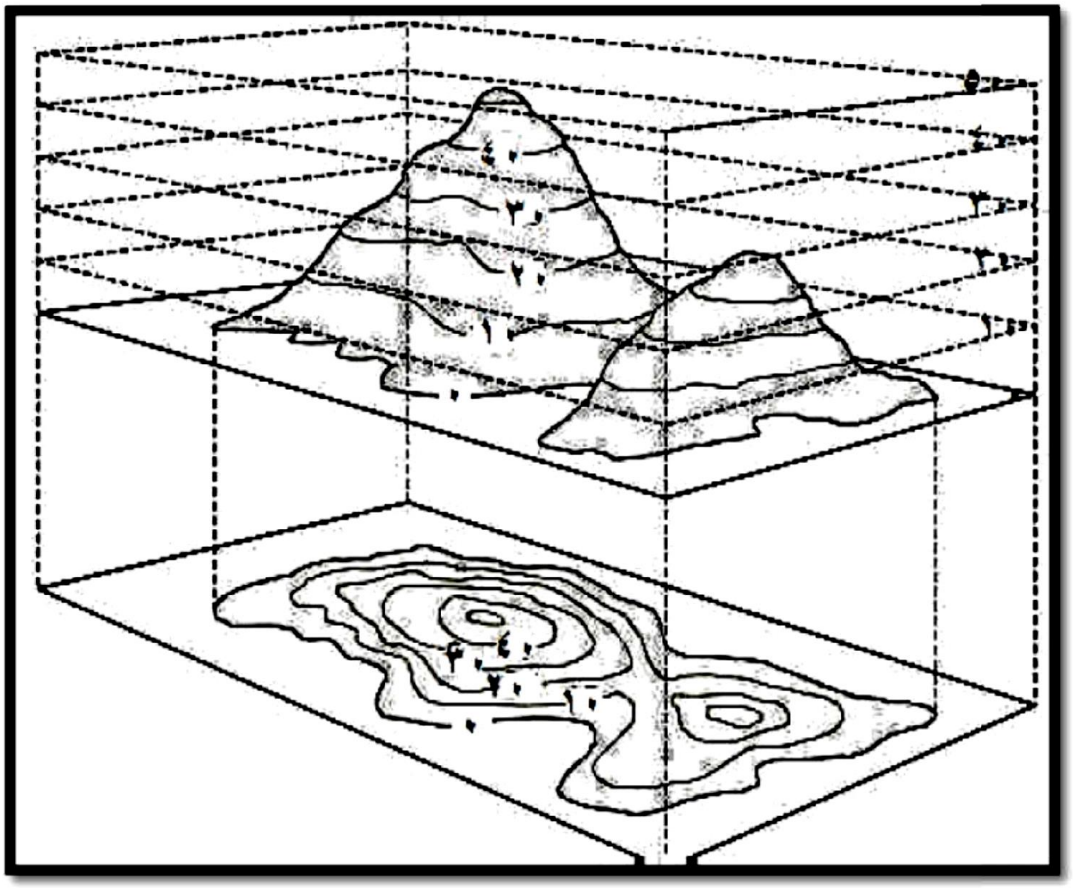
4. استخدامات الخرائط الكنتورية Contour Maps

أ) رسم الابعاد الثلاثية للمقاطع التضاريسية وطبقات الصخور وامتدادها تحت سطح الأرض كأن تكون مقاطع للأودية او الجبال.

ب) حساب النسبة المئوية لمساحة سطح الأرض بين خطوط الكنتور.

ج) حساب انحدار سطح الأرض بين نقطتين عن طريق ايجاد النسبة المسافة الراسية والمسافة الافقية.

د) تستخدم في استصلاح الأراضي الزراعية وتسوية مشاريع الطرق والمطارات وفي مشاريع والمرافئ والسدود، وفي تحديد نقاط المراقبة العسكرية والمدنية.



شكل (9-2) بناء مجسم لتضاريس ارضية من خريطة كنتورية

5. حساب الفترة الكنتورية Contour Interval

هناك طريقتان لحساب الفترة الكنتورية او الفاصل الرأسي بين خطين كنتوريين متتاليين:

الطريقة الاولى: بإستخدام معادلة (إيمهوف)

$$Contour\ Interval = \frac{x\ \tan\theta}{2 * 1000}$$

حيث (x) تمثل الطرف الثاني الكبير من مقياس الرسم، و(θ) اكبر درجة انحدار للمنطقة المطلوب رسم الخريطة الكنتورية لها. اما (2) فتمثل أصغر مسافة يمكن رؤيتها بين خطوط الكنتور بالعين المجردة و (1000) تحويل من المتر الى المليمتر.

الطريقة الثانية: الطريقة اللوغارتمية وتحسب فيها الفترة الكنتورية او الفاصل الرأسي على النحو التالي:

أ) حساب قيمة (n) من المعادلة التالية:

$$n = \sqrt{\frac{x+1}{100}}$$

ب) استخراج قيمة $Log(n)$ من الجداول الرياضية أو بإستخدام الآلة الحاسبة.

ج) تطبيق المعادلة التالية لإستخراج قيمة الفترة الكنتورية:

$$Contour\ Interval = n\ \mathrm{Log}(n)\ \tan\theta$$

مثال: ما هو انسب فاصل رأسي لخريطة كنتورية مقياس رسمها 100000:1 ودرجة الانحدار 67^0 ؟

الطريقة الاولى: بإستخدام معادلة (إيمهوف)

$$Contour\ Interval = \frac{x\ \tan\theta}{2 * 1000} = \frac{100000 * \tan 67}{2 * 1000} = 111.78\ m$$

الطريقة الثانية: الطريقة اللوغارتمية

$$n = \sqrt{\frac{x+1}{100}} = \sqrt{\frac{100000+1}{100}} = 31.62$$

$$Log(n) = Log(31.62) = 1.49996 \approx 1.5$$

$$Contour\ Interval = n\ \mathrm{Log}(n)\ \tan\theta = 31.62 * 1.5 * \tan 67 = 111.74\ m$$

وبذلك يكون أنسب فاصل رأسي لهذه الخريطة 100 م وتأخذ خطوط الكنتور المناسيب التالية:

100, 200, 300, 400, 500 …. etc

مثال1: خريطة كنتورية مقياس رسمها 50000:1 ودرجة الانحدار 35^0. ما مقدار الفاصل الرأسي؟ (20)

مثال2: احسب الفترة الكنتورية لخريطة مقياس رسمها 40000:1 ، علما ان درجة الانحدار 25^0 ؟ (10)

مثال3: اذا كانت الفترة الكنتورية لخريطة مقياس رسمها 20000:1 تساوي 10 متر، ما درجة انحدار المنطقة ؟ (45^0)