مقرر الجيولوجيا الهندسية
السنة الثانية جيولوجيا

المحاضرة الثالثة

الفصل الثاني
التصنيف الجيوهندسي للصخور

أ.د محمد عيسى

1. الروابط البنيوية في الصخور:

ترتبط العناصر البنيوية المكونة للصخور (الحبات الفلزية، الجزيئات، البلورات) فيما بينها بروابط بنيوية. تحدد طبيعة هذه الروابط بشكل كبير الخصائص الأساسية لهذه الصخور. إن متانة بعض الحبات الفلزية والبلورات تتعلق بالروابط الكيميائية البلورية الداخلية. وبنفس الوقت فإن ثبات الصخور المكونة (المركبة) من هذه العناصر البنيوية هو أقل منها، وعند بعض الصخور المشتتة غير الملتحمة بملاط تكون المتانة قريبة من الصفر، وبالتالي فإن خصائص المتانة أو الخصائص التماسكية لهذه الصخور لا تتحدد فقط بتماسك العناصر البنيوية المكونة لها بقدر ما هي تتحدد بمتانة الروابط بين هذه المكونات أي بمعنى آخر بالروابط البنيوية.

تتشكل الروابط البنيوية نتيجة عمليات فيزيائية ـ كيميائية معقدة. وهي تتشكل تحت تأثير عمليات الارتصاص والانحلال والتجوية والرشح وغيرها. هذا وتعد عملية تشكل الروابط البنيوية عملية تاريخية طويلة تتطور على امتداد (الحياة الجيولوجية) للصخور. لهذا فان دراسة الروابط البنيوية تقوم على أساس دراسة عمليات التشكل الصخري وأيضاً التصورات الحديثة الفيزيائية ـ الكيميائية والميكانيكية للمنظومات الصخرية المبعثرة للتأثيرات الفيزياكيميائية المتبادلة التي تحدث على سطوح التماس بين العناصر البنيوية وبوجود مكونات سائلة وغازية في الصخور.

1.1. طبقة الروابط البنيوية: بحسب المتانة يمكن أن تكون الروابط البنيوية مختلفة جداً من الضعيفة التي بصعوبة تظهر في الظروف الطبيعية وتبدي تأثيراً ضعيفاً على خواص الصخور وحتى الشديدة المتانة والمتساوية الشدة مع متانة الحبات البلورية نفسها. وبالتالي يفسر هذا التنوع بمتانة الروابط بطبقة التأثيرات المتبادلة الناشئة على تماسات الجزيئات والحبات. وبحسب طبيعة هذه التأثيرات المتبادلة تقسم هذه الروابط إلى عدة أشكال (أنماط):

أ. كيميائية (تكافؤية، شارية).

ب. فيزيائية وفيزيا ـ كيميائية (جزئية، كهربائية، مغناطيسية، شاردية، أيونية، شعرية).

ج. ميكانيكية.

أولاً: الروابط البنيوية ذات الطبيعة الكيميائية: يعد هذا النمط من الروابط قريب بطبيعته من الروابط البلورية الداخلية للفلزات. فهي يمكن أن تنشأ عند التماس المباشر للحبات الفلزية بعضها مع بعض أو عند إملاء الفراغ بين الحبات بمادة لاحمة متينة تؤمن (توثق) على حساب الروابط الكيميائية مع السطوح المستوية الخارجية للشبكات البلورية للحبات الملتحمة.

إن الروابط الكيميائية تعتبر أكثر أشكال الروابط البنيوية ثباتاً وهي تنشأ بطرائق مختلفة ففي الصخور المغماتية تظهر بنفس الوقت مع تشكل الحبات الفلزية نفسها في عمليات التبلور وتصلب المصهور المغماتي. وعند الصخور المتحولة تتشكل أثناء إعادة تبلور الصخور الأم ، أما في الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط فتنشأ نتيجة ارتشاح المحاليل وترسب الأملاح وأيضاً نتيجة التوضع في الفراغ المسامي الغرويات السيليسية وهيدروكسيدات الحديد وتبلورها على سطوح التماس بين الحبات. وبطبيعتها تمثل الروابط الكيميائية قوى ذات طبيعة كهربائية ـ مغناطيسية وهي تتحقق على حساب الالكترونات المحيطة بالذرات. وبحسب قيم الكهرسلبية للذرات المتبادلة التأثير فإن توزع الالكترونات التكافئية بينها يمكن أن يكون متبايناً. وعند ذلك في الفلزات الأساسية المشكلة للصخور يحدث تشكل نمطين للروابط الكيميائية هما التكافئية والشاردية.

إن الخصائص الأساسية المميزة للرابطة الكيميائية هي أولاً ظهورها عند مسافات ليس كبيرة بين الذرات المتبادلة التأثير (بحدود 0.5 – 3.5 انغستيروم) وعند زيادة المسافة للذرات فإن قيمة هذه الرابطة تتناقص بسرعة وثانياً الطاقة العالية التي تبلغ 1200 كيلو جول/مول.

ثانياً: الروابط البنيوية ذات الطبيعة الفيزيائية والفيزيا ـ كيميائية: في الصخور المبعثرة بشدة (الصخور الغضارية وصخور اللوس وبعض أشكال الحوار والمارل والدياتوميت) وأيضاً التشكيلات العضوية والترب فإن الدور الأساسي في تشكيل الروابط البنيوية تلعبه قوى ذات طبيعة فيزيائية وفيزياكيميائية. تشكلها يرتبط بالسطح النوعي العالي للمكونات الصلبة للصخور الدقيقة التبعثر وبالظواهر الفيزيائية والفيزيا ـ كيميائية المؤثرة على الحد ماء ـ فلز تميز عدة أشكال للقوى ذات الطبيعة الفيزيائية والفيزياكيميائية المؤثرة على تماسات الحبات شديدة التبعثر (جزئية، كهربائية، مغناطيسية، شارية، شعرية) دور كل من هذه القوى المذكورة أعلاه في تشكيل الرابطة البنيوية العامة للصخور يمكن أن يتغير تبعاً لدرجة تصلب هذه الصخور ومائيتها ففي الرسوبات الغضارية والغضاريات ضعيفة التصلب والتورق ستكون التأثيرات المتبادلة المسيطرة هي الجزئية والكهربائية والمغناطيسة ، وفي الصخور الغضارية المتعرضة لتصلب ملحوظ وأيضاً في صخور اللوس والترب فإن التأثير المحدد في الروابط البنيوية تتمتع به القوى الجزئية ـ الكهربائية والشعرية.

أ. القوى الجزئية : تنسب القوى الجزيئية حسب طبيعتها إلى قوى ذات طبيعة كهرستاتيكية وكهرمغناطيسية، وهي تنشأ على حساب التأثيرات الثنائية المتبادلة للجزيئات الحيادية المتمتعة بعزم ثنائي القطب أو غير المتمتعة. ففي الحالة الأولى تنشأ بين الجزيئات تأثيرات متبادلة كهرستاتيكية على حساب التأثيرات الموجهة (الجزأين يتمتعان بالقطبية الثنائية) أو التأثيرات المتبادلة كهرمغناطيسية على واحدة من الجزئيتين يتمتع بالقطبية الثنائية ، بينما في الحالة الثانية التأثيرات المتبادلة كهرومغناطيسية على حساب التأثير التبعثري. زوج الجزيئات المتبادلة التأثير يمكن أن يصدر حقل جذب جزئي، التأثير بين أي حسمين صلبين عند اقترابهما على مسافة تقاس بعشرات وحتى مئات النانومتر (1 نانومتر= 10 A°) ومع تناقص حجوم الأجسام المقتربة من بعضها (زيادة السطح النوعي للمنظومة) فإن دور التجاذب الجزيئي بينها يزداد.

ب. القوى الكهرستاتيكية: إضافةً أو إلى جانب التجاذب الجزيئي بين الحبات أو الجزيئات المفصولة في الوسط المتبعثر يمكن أن تنشأ تأثيرات متبادلة كهرستاتيكية، فعند تماس مباشر للجزيئات واحدة مع الأخرى فإن سطحها يمكن أن يكتسب بعض الشحنات من جراء الكهربائية التماسية لقد أظهرت الدراسات التي أجريت في هذا الاتجاه بأن كل الجزيئات الفلزية في الحالة الهوائية الجافة نتيجة الاحتكاك تكتسب شحنة كهربائية تتعلق قيمتها وإشارتها بعدة عوامل: التركيب الفلزي، مقاس الجزيئات (الحبات)، ووجود الأغشية الامتصاصية على سطوحها. فلقد تبين بأنه عند الاحتكاك تشحن بعض الفلزات(بيوتيت، مسكوفيت، جص) بقوة وبعضها (كوارتز، ميكروكلين، هورنبلاند) بضعف وثالثة تشكل وضعاً متوسط الشدة.

كما وتختلف الفلزات بشحنتها أيضاً: فالكوارتز والهورنبلاند والميكا تمتلك شحنة سالبة أما الكالسيت والجص فتملك شحنات موجبة، وفي حالة الميكروكلين تتعلق الشحنة بمقاس الحبات. وتزداد قيمة شحنات الحبات نتيجة الاحتكاك مع زيادة التبعثر وبعد بلوغ القيمة العظمى الموافقة لمجموعة معينة تتناقص بشكل حاد. وهذا وتملك الروابط الكهربائية أهمية تطبيقية في الصخور الرملية والغبارية (الغرينية) عند رطوبة طبيعية أقل من السعة المائية الجزيئية العظمى لهذه الصخور.

ج. القوى المغناطيسية: إضافةً إلى التأثيرات المتبادلة الجزيئية والثنائية القطب في تشكيل الروابط البنيوية في الصخور المبعثرة فإنه يمكن أن تشارك قوى ذات طبيعة مغناطيسية (أسيبوف 1968). إن تشكل التأثيرات المتبادلة ذات الطبيعة المغناطيسية متعلق بوجود عزم مغناطيس عند الحبات الغضارية وهذا يقود في ظروف الحقل الجيومغناطيسي إلى تأثيرات متبادلة فيما بينها. لقد أظهرت الحسابات بأن قيمة الرابطة المغناطيسية البنيوية على واحدة سطوح التماس لحبتين غضاريتين لا تزيد عن 10^{-9} – 10^{-11} نيوتن. وبالتالي فإن دور القوى المغناطيسية في تشكيل الروابط البنيوية للصخور الناعمة التبعثر ليس كبيراً وبالتالي فإن احتمال تأثير هذه ينبغي حسابه فقط في المراحل الأولى لتشكل الرسوبات حيث يمكن لهذه القوى أن تساعد على تكاثف الجزيئات.

إن التأثيرات المتبادلة الجزيئية والكهربائية والمغناطيسية تنسب إلى مجموعة التأثيرات الطويلة، وهي تظهر على مسافة بين الحبات تقاس بعشرات أو مئات النانومتر. وعند تماسك الصخور المبعثرة بشدة خلال عملية التشكل الصخري أو بالتخفيف فإن المسافة بين الحبات تختصر بشكل كبير وهذا يقود إلى إظهار القوى الكهربائية ـ الشاردية على سطوح التماس.

د. الروابط البنيوية الكهرستاتيكية ـ الشاردية: يرتبط نشوء هذه الروابط عند الجزيئات الغروية والغضارية بالتأثيرات المتبادلة بين هذه الجزيئات والمحاليل في الصخور الجافة تعتبر شوارد طبقة الامتصاص حلقات اتصال وعند تجفيف الصخور أو تراصها فإن الكاتيونات التبادلية المتوضعة بين الجزيئات الغضارية المشحونة سلباً تشكل بينها جسوراً كهربائية متينة. إن ميكانيكية تشكل الرابطة البنيوية بين الجزيئات على حساب القوى الشارية الكهربائية مشابهة للعلاقات بين الطبقات داخل بلورات الفلزات الميكاوية فلقد بين الحساب النظري لقوى الجذب الكهربائي ـ الشاردي لجزيئات المونتموريللونيت المشحونة سلباً بأنه يحصل تجاذب بينها وبين الشوارد الموجبة في الوسط المحيط، والأبحاث التجريبية أظهرت كذلك بأن الروابط البنيوية لهذا الشكل تكون كبيرة وبالتالي تكون متانة العينات المحضرة من جزيئات (حبيبات) ذات حجوم 1 – 2 ميكرون على الضغط مرتبطة بالتركيب الفلزي وبكثافة الشوارد التبادلية الموجبة وتركيبها وهي تتغير من 0.1 وحتى 25 ميغا باسكال.

ولقد ثبت في الوقت الحاضر بأن الشحنات السالبة عند الفلزات الغضارية تبقى دائماً على السطوح القاعدية وهذه الشحنات تعد أكثر فعالية، وتتغير إشارة الشحنات تبعاً لتغير حموضة الوسط و تفاعلها مع المحاليل.

فعندما تكون pH<7 تكون الشحنات موجبة وعندها على الجوانب يجب أن توجد شوارد سالبة، وعندما تكون pH>7 تمتز حول الفلز الغضاري فقط الشوارد الموجبة إن تأثير القوى الكهربائية الشاردية في الصخور الناعمة التبعثر تصبح ملحوظة خاصةً عند اقتراب الحبات لمسافة حتى(2-3 نانومتر) والتي عندها تبدأ تسيطر على قوى الجذب الجزيئي. ومع نشوء التأثيرات المتبادلة الكهربائية ـــ الشاردية فإن متانة المنظومة الصخرية تزداد بشكل واضح وهذا يوضح بشكل خاص بالتمتين (التثبيت) للغضاريات عند جفافها.

هـ. الروابط البنيوية الشعرية: في الصخور المبعثرة التي تمثل منظومة ثلاثية الأطوار والتي رطوبتها ليست أقل من الرطوبة الأعظمية وليست أكبر من الحد السفلي للدونة، توجد رابطة بنيوية على حساب القوى الشعرية. إن تأثير القوى الشعرية على سطوح التماس بين حبتين كرويتين ذات نصف القطر r يعبر عنها بالعلاقة التالية:(زيموف 1967)

$$F_k=2\pi\ \sigma\ r$$

حيث أن:

σ : التوتر السطحي للسائل.

إذا كان واحد من السطحين المتماسين أو قطر إحدى الحبتين غير متساوٍ بالقياس لدرجة كبيرة بالمقارنة مع السطح أو القطر الآخر فإنه يكون:

$$F_k=4\pi\ \sigma\ r$$

حيث أن:

r : قطر الحبة الأصغر.

انطلاقاً من المعادلتين المذكورتين أعلاه يمكن إعطاء تقييم تقريبي للقوى الشعرية في المنظومة المبعثرة المؤلفة من حبات كروية ذات أقطار 1 ميكرون. وقد أعطت الحسابات قيمة بحدود $4x10^{-7}$ نيوتن على سطح التماس.

ثالثاً: الروابط البنيوية ذات الطبيعة الميكانيكية: إن القوى ذات الطبيعة الفيزيائية والفيزياكيميائية المدروسة أعلاه تؤثر في مسامات المنظومات الدقيقة التبعثر المشبعة كلياً أو جزئياً بالماء. وفي المنظومات الأكثر خشونة على سبيل المثال الأحجار الرملية والصخور ذات الكسارات الكبيرة فان التأثير الإجمالي للرابطة البنيوية على حساب القوى المذكورة أعلاه يضمحل بدرجة كبيرة لهذا فإن مثل هذه الصخور تنسب عادة إلى المنظومات غير المترابطة أو السريعة الانهيار. إن التماسك (التلاصق) البنيوي لهذه الصخور ليس كبيراً ومشروطاً بفعالية ذات طبيعة ميكانيكية بحتة. وإلى هذه القوى تنسب قوى الإمساك المتبادل للحبات من جراء عدم التجانس الدقيق (المجهري) لتضاريس سطحها.

إن قيمة الإمساك المتبادل للحبات والكسارات الفلزية تتعلق بكثافة الصخور وتركيبها الحبي فهي تزداد مع كبر وعدم تجانس التركيب الحبي للصخور.

2. نشوء الروابط البنيوية وتشكل الصخور:

إن تشكل الروابط البنيوية في الصخور هي عملية تاريخية طويلة تتطور على مدى كل فترة تشكل الصخور ووجودها.

ففي لحظة تشكل الصخور (تبرد الماغما, إعادة التبلور عند العمليات التحولية, تراكم الرسوبات ....الخ) تنشأ فيها ما نسميها بالروابط البنيوية الأولية. وفي المراحل اللاحقة من (الحياة الجيولوجية) للصخور وتحت تأثير عمليات الارتصاص والانحلال والتجوية وارتشاح المحاليل وغيرها يمكن أن تنشأ في الصخور روابط بنيوية جديدة (ثانوية). وبنفس الوقت مع هذا يمكن أن تتغير وتتحول بهذه الجهة أو تلك الروابط البنيوية الأولية. وكل هذا يشترط تغيراً ثابتاً للروابط البنيوية خلال الزمن الجيولوجي. وبالتالي مع تغير الروابط البنيوية تتغير الخواص الجيوهندسية للصخور. وبالطبع يجب الأخذ بعين الاعتبار بأن متانة وطبيعة الروابط البنيوية في كل حالة محددة تتعلق بنسب المكونات في الصخور. فكما هو معروف جيداً على سبيل المثال أن متانة الغضار في الحالة الجافة يمكن أن تبلغ 10 ميغا باسكال , بينما في الحالة الرطبة يكون لدناً أو بمثابة كتلة سيلانية تتشوه بسهولة تحت تأثير وزنها. لهذا عند الدراسات الجيوهندسية للصخور من الضروري أن يؤخذ بالحسبان إلى جانب تركيب وعمر ومنشأ الصخور, حالة هذه الصخور في كل لحظة محددة والتنبؤ بصفاتها مع الأخذ بالحسبان هذه الحالة.

في الصخور المغماتية والمتحولة تنتشر على نطاق واسع الروابط البنيوية البلورية ذات الطبيعة الكيميائية، وهذا يفسر متانتها العالية. وفي منطقة الهيبرجينيز فإن الصخور المغماتية وتحت تأثير عوامل التجوية وتشكل الترب تتعرض إلى التخريب. فإذا كانت التجوية الفيزيائية تسيطر على التجوية الكيميائية فإن تخريب (تحطيم) الصخور البلورية المتينة يتجلى بالأساس بالتحطيم وعند مشاركة عمليات نقل مواد التجوية تتشكل الصخور الرملية والصخور التجمعية التي توجد فيها الروابط البنيوية الجزئية والكهربائية والشعرية الضعيفة.
إن قيمة الروابط البنيوية الجزئية والكهربائية بمقدار ما هي ضعيفة في تلك الصخور فإن هذه الصخور في الحالة الجافة تمثل أجساماً سريعة الانهيار لهذا اصطلح على تسمية هذه الصخور بالصخور غير المترابطة.
إن ظهور المياه الشعرية في هذه الصخور يعطي (يؤدي إلى نشوء) الرابطة البنيوية وبصورة خاصة للصخور الرملية الناعمة حيث تتفوق فيها المسامات الشعرية على المسامات اللاشعرية.

إن الروابط البنيوية الشعرية في الصخور التجمعية يمكن أن تنشأ في تلك الحالة عندما تتضمن مواد مالئة (رمال, مواد غضارية) بين المواد الحطامية الكبيرة (حصى, حصباء ....) قادرة على التمسك بالمياه الشعرية.

وعند سيطرة التجوية الكيميائية على الفيزيائية تتشكل الصخور الغضارية وصخور اللوس وهذه الصخور تتمتع بروابط بنيوية مختلفة في مختلف مراحل تشكلها.

إن الروابط البنيوية في هذه الصخور تأتي بحسب أهميتها على النحو التالي: الشاردية ـ الكهربائية ـ الشعرية ـ الجزئية ـ المغناطيسية. وفي صخور التورف وصخور المنشأ العضوي فإن النمط الآخر من هذه الروابط يغيب.

في الأحواض المائية تتشكل الصخور الكيميائية (الكربوناتية, السولفاتية, الهالوجينية) المترسبة من المحاليل عند إشباعها وكذلك الصخور العضوية القريبة منها والمتشكلة نتيجة تراكم الرسوبات السيليسية والكربوناتية للمتعضيات الميتة. فعند أغلب هذه الصخور تسيطر الروابط البنيوية البلورية. كذلك يملك هذا النوع من الروابط البنيوية أهمية كبرى في الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط مثل الكونغلوميرا والأحجار الرملية والاليفرليت والأرجليت المتشكلة نتيجة عمليات السمنتة في مناطق الكاتاجينيز والهيبرجينيز.

أما قيمة الروابط البنيوية البلورية عند الصخور الرسوبية الكيميائية والملتحمة بملاط فتتعلق بدرجة التصلب. فكلما كانت درجة التصلب أكبر كلما كانت أمتن الروابط البنيوية البلورية وتحت تأثير عمليات التحول فإن الروابط البنيوية البلورية تصبح محددة لكل الصفات الجيوهندسية للصخور المتحولة.

إن الإنسان في عملية نشاطه الإنتاجي يمكن أن يغير تركيب خواص أية صخور ويحولها إلى صخور اصطناعية وبخاصةً يغير وبدرجة كبيرة خواص الصخور المبعثرة. وتبعاً لنمط الصخور, وطرائق وأساليب التأثير عليها فإن الصخور الاصطناعية يمكن أن تتمتع بروابط بنيوية مختلفة ومن ضمنها الروابط البلورية, وفي هذه الحالة فإن هذه الصخور (الاصطناعية) بمتانتها يمكن أن توافق الصخور ذات الروابط البنيوية البلورية.

3. بنية ونسيج الصخور:

إن التركيب الفلزي والمقاس والخصائص المورفولوجية للعناصر المكونة للصخور, وتوزعها الفراغي والتأثيرات المتبادلة فيما بينها تحدد المظهر العام للصخور الذي يعبر عنه بالبنية والنسيج.

فالبنية والنسيج مرتبطان بشكل وثيق بتركيب الصخور وبظروف تشكلها, وبهذا المعنى يعتبران أهم المؤشرات المنشئية. وفي نفس الوقت أيضاً فإن الخصائص البنيوية والنسيجية تعتبر من أهم مؤشرات الصخور النوعية التي تحدد خصائصها الفيزيائية وبصورة خاصة صفاتها الفيزيا ـ ميكانيكية. لهذا عند الدراسة الجيوهندسية للصخور بهدف إقامة مشاريع هندسية. فإن البنية والنسيج يدرسان كأساس لوضع (إيجاد) العلاقات بين الصفات الأساسية للصخور كوسط طبيعي وخواصها.

أ. البنية: مفهوما البنية والنسيج متشابهان جداً بالمعنى فمن اللاتينية البنية هي تركيب, توضع, بناء، تكوين. أما النسيج فهو اتحاد, ارتباط. إن التقارب بالمعنى بين هذين المفهومين أدى إلى تعريفها بالأدبيات العلمية الجيولوجية بمعان مختلفة. وسنعتمد التعريف الذي يستخدم على نطاق واسع في الأدبيات البتروغرافية وهو أن البنية يقصد بها خصائص بنية الصخور التي تتحدد بمقاسات الجزئيات المكونة (للفلزات) وعلاقات الارتباط المتبادلة بين المكونات وفي حقل الجيولوجيا الهندسية أضيف مؤشر جديد للبنية وهو طبيعة علاقة الارتباط بين مكونات الصخور (الرابطة البنيوية) وبالتالي أصبحت تعرف بنية الصخر في الجيولوجيا الهندسية بأنها مقاس وشكل وطبيعة السطح والعلاقات الكمية لعناصره (الحبات المنفصلة, الجزئيات, الكسارات ....) وطبيعة علاقة الارتباط فيما بينها. هذا وطالما أن التأثيرات المتبادلة للعناصر البنيوية ترتبط بوجود مكونات أخرى في الصخر (سائلة, وفي بعض الحالات غازية) فإنه في مثل هذه النظرة تعتبر البنية مؤشراً للصخر كمنظومة متعددة المكونات.

يبقى الإشارة بأن مقاس العناصر البنيوية التي هي أحد المؤشرات البنيوية الأساسية يتغير ضمن مجالات واسعة ففي الصخور التجمعية الحطامية مقاسات المواد الحطامية يمكن أن تبلغ عدة عشرات السنتيمترات وفي الصخور الرملية والصخور المغماتبة (الاندساسية) والمتحولة تتراوح هذه المقاسات بين أجزاء مئوية من الميليمتر وحتى عدة ميليمترات, وفي الصخور الناعمة التبعثر تبلغ أجزاء من الألف من الميليمتر. وتبعاً لمقاس المؤشرات البنيوية فإن بنية الصخور يمكن أن تدرس بالعين المجردة أو بالمجهر. وفي كلتا الحالتين نستخدم مفهوم البنية ماكرو أو ميكرو (أي البنية الجهرية والبنية المجهرية).

تقسيم البنيات بحسب الخصائص المورفومترية للعناصر البنيوية:

في الجيولوجيا الهندسية كما في البتروغرافيا يستخدم على نطاق واسع تقسيم بنيات الصخور بحسب خصائص العناصر البنيوية أي بحسب مقاسها ودرجة تبلورها وتوجيهها وخصائصها المورفولوجية. وانطلاقاً من هذا المبدأ فإنه ضمن الصخور المغماتية العميقة تميز بنيات مكتملة التبلور متساوية الحبيبات (حبات متوسطة أو كبيرة) أو بنيات بورفيرية غير متساوية الحبات حيث الكتلة الأساسية فيها هي للحبات الناعمة أو المتوسطة. الصخور المتوسطة العمق (نصف عميقة) تتصف عادةً ببنيات ذات تبلور كامل (غالباً حبات صغيرة) أو بورفيرية حيث الكتلة الأساسية من الحبات ذات مقاسات صغيرة. الصخور البركانية تتمتع غالبيتها ببنيات ذات تبلور مجهري (خفي) أو بورفيرية حيث الكتلة الأساسية غير مكتملة التبلور أو زجاجية.

إن الصفة المميزة لكل الصخور المتحولة هي البنيات المكتملة التبلور. الحبات الفلزية المكونة لهذه الصخور تكون عادةً موجهة باتجاه واحد وهذا مرتبط بتشكلها في ظروف الضغط الموجه.

وبحسب العلاقة بين مقاسات العناصر المكونة فإن بنيات الصخورِ المتحولة تقسم إلى بنيات متجانسة أو غير متجانسة (بورفيرية). وإضافةً لذلك تميز البنيات التالية في الصخور المتحولة، فحسب أشكال فلزاتها تميز البنيات التالية:

- ايديوبلاستيه (Idioblastic) وفيها تكون البلورات ذات شكل تام الأوجه.
- كزينوبلاسيتيه (Xenoblastic) وتكون البلورات ذات شكل غير نظامي.
- غرانوبلاسيتيه (Granoblastic) تكون حبات الفلزات ذات حجوم وأشكال متقاربة.
- بورفيروبلاسيتية (Prophyroblastic) وفيها تكون حبات فلز أو عدة فلزات أكبر من حجوم الفلزات الأخرى في الصخر وتشكل الحبات الصغيرة أرضية الصخر.
- لبيدوبلاسيته (Lepedoblastic) تكون البلورات غير متجانسة القياس (صفائحية, حرشفية).
- نيماتوبلاسيتيه (Nematoblastic) وتتألف من بلورات موشورية منفصلة، عادةً أمفيبول.

أما بنيات الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط تتحدد قبل أي شيء بمقاس وشكل المواد الحطامية المكونة لها فكما هو معروف تقسم الصخور الحطامية إلى أربعة أنواع:

صخور حطامية خشنة، صخور رملية، صخور اليريتية، صخور بيليتية.

ولكل نوع من هذه الأنواع بنية مميزة فللصخور الحطامية الخشنة تكون البنية حصبائية خشنة أو حصوية (مدورة) وللصخور الرملية تكون البنية رملية متوسطة أو ناعمة, بينما للصخور البيليتية تكون البنية بيليتية.

إن الأهمية الاستثنائية الكبرى عند وصف بنيات الصخور الحطامية الملتحمة بملاط تعطى لوصف المادة اللاحمة من حيث تركيبها وبنيتها وعلاقتها المتبادلة مع الجزيئات للحطامية. وبحسب هذا المؤشر الأخير يمكن أن تكون الجزيئات الحطامية منغرسة في الملاط وغير متلاصقة (متماسة) فيما بينها. أو يمكن أن يملأ الملاط الفراغات بين الجزيئات الحطامية المتلاصقة أو يمكن أن يتوضع فقط على سطوح التماس بين الجزيئات والمواد الحطامية.

- بنيات الصخور الرسوبية الكيميائية والعضوية: تقسم وفقا لمقاس البلورات ودرجة التبلور وأيضاً تبعاً لمقاسات وأشكال الرواسب العضوية وتجمعاتها. إن أكثر البنيات انتشاراً هنا هي البنيات الحبيبة المبلورة أو المجهرية التبلور أو الأولّية ...الخ . البنية الأولي تصادف في الصخور الكلسية, الدولوميتية وبعض الصخور السيليسية والأملاح, أما البنيات الأخرى فتصادف عند الصخور الكربونائية والسيليسية.
- أما بنيات الصخور الحطامية الملتحمة بملاط ضعيف (الصخور الحطامية الخشنة) الأحجار الرملية, صخور اللوس, الغضاريات فتتمتع بتنوع كبير وهذا عائد للاختلاف في المقاس والشكل والعلاقة الكمية لعناصرها البنيوية وتستخدم هذه الخصائص المذكورة أعلاه لتقسيم هذه الصخور إلى عدة أنماط بتروغرافية لهذا فإن تسمية بنيات هذه الصخور مرتبط بشكل وثيق بتسمياتها البتروغرافية. وبناء على ذلك ضمن الصخور الحطامية تميز البنيات الحصبائية والحصوية. وعند وصف بنيات هذه الصخور يعتبر مهماً جداً إظهار تركيب وكمية المواد المالئة. فعند محتوى لا بأس به من المواد المالئة (أكثر من 40% للمواد الرملية و 30% للمواد الغضارية فإنه بالتأكيد يذكر في تسمية بنيات الصخور نوع المادة المالئة.

- ضمن الصخور الرملية وحسب درجة فرز الحبات والمواد الحطامية تميز بنيات حصوية رملية أو رملية, وهذه الأخيرة بدورها تقسم حسب مقاس الحبات المسيطرة إلى بنيات ذات حبات خشنة أو متوسطة أو ناعمة.
- أما بنيات الصخور الغضارية وصخور اللوس فتحدد بالعلاقات المتبادلة وبطبيعة علاقة الارتباط للمواد الحطامية (الرملية والغبارية) وللجزيئات الغضارية وبمقدار ما تتواجد هذه الأخيرة (الجزيئات الغضارية) في حالة تجمعية أو بهيئة أغلفة غضارية على سطح الحبات التجمعية فإن تمييز بنيات الصخور الغضارية وصخور اللوس بحسب تركيبها الحبي (الغرانومتري) (كما هو الحال في حالة الصخور الحطامية والرملية) لا يمكن اعتباره صحيحاً. هذا وباستخدام المجهر الالكتروني في السنوات الأخيرة أصبح بالإمكان دراسة بنيات الصخور الناعمة التبعثر وتمييز عدة أنماط للبنية بحسب خصائصها المورفومترية.

تقسيم البنيات بحسب طبيعة الروابط البنيوية:

المبدأ البتروغرافي لتقسيم البنيات على الرغم من استخدامه الواسع في الجيولوجيا الهندسية إلا أنه لا يعطي تصوراً كاملاً عن بينة الصخور لأنه لا يتضمن صفات الروابط البنيوية التي هي من أهم مؤشرات البنية. لهذا عند الدراسة الجيوهندسية للصخور فانه إضافةً إلى البنيات المميزة بالمؤشرات البتروغرافية يتم تقسيم هذه البنيات بحسب طبيعة الروابط البنيوية. وفي أساس مثل هذا التقسيم يؤخذ نمط التماس المسيطر الذي يحدد بدوره بشكل عام طبيعة الروابط البنيوية في الصخر وبالتالي متانته. وبالتوافق مع ذلك وبحسب طبيعة الروابط البنيوية ضمن الصخور يمكن تمييز أنماط للبنيات : مبلورة, تجمعية, تخثرية، مختلطة, مفككة.

- البنيات البلورية: تميز هذه البنية أغلب الصخور المغماتية والمتحولة والتشكيلات الرسوبية ذات المنشأ الكيميائي (الأملاح, الصخور الكلسية, الدولوميت).
- البنيات التجمعية: وتميز الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط مثل الصخور التجمعية, البريشا, الصخور الرملية, الاليفروليت, الكربونات ...الخ .
- البنيات التخثرية: تنتشر في الرسوبات ذات النمط التخثري للارتباط مثل الطمي, الصخور الغضارية ضعيفة التصلب, الترب, التورف.
- البنيات المختلطة: مميزة للصخور التي توجد فيها عدة أنماط من الارتباطات مثل الغضاريات الكثيفة, الحوار, الدياتوميت, الأحجار الرملية ذات الملاط الغضاري ...الخ .
- البنيات المفككة: هذه البنيات تتمتع بارتباط ضعيف مثل الصخور الحطامية الخشنة (بدون مواد مالئة غضارية) أو الصخور الرملية.

كل نمط من أنماط البنيات المذكورة أعلاه يتصف بقيم معينة للمتانة وبسلوكية تشوه مميزة، لهذا عند الدراسة الجيوهندسية للصخور من الضروري إضافةً إلى وصف خصائص بنيتها اعتماداً على المؤشرات البتروغرافية توضيح نمط البنية حسب الروابط البنيوية, وهذا يسمح بالحصول على تصور كامل ليس فقط عن تركيب وبنية الصخور وإنما عن خواصها أيضاً.

ب. النسيج: يقصد بالنسيج الصخري مجموع المؤشرات التي تصف التوضع النسبي وتوزع العناصر البنيوية للصخر في الفراغ.

فالنسيج مشابه للبنية ويتعلق بشكل أساسي بتركيب الصخور وظروف تشكلها فنسيج الصخور المغماتية يتصف بأشكال محددة تشكلت من جراء اختلاف ظروف تبرد المصهور المغماتي، وأكثر انتشاراً هنا النسيج المتجانس (أو الكتلي) النسيج الخطي, النسيج الكروي, النسيج الموجه.

أما نسيج الصخور المتحولة فينقسم إلى نسيج كتلي ونسيج متورق وضمن النسيج المتورق تميز عدة أنواع من أهمها: النسيج الصفحي, المتوازي (الاردوازي)، النسيج الغنايسي، النسيج الشيستوي، النسيج الليفي واضافةً إلى أنواع النسيج المذكورة أعلاه في الصخور المتحولة يصأدف ما نسميه بالنسيج المتبقي وهو الذي يحتفظ بالخصائص النسيجية للصخور الأم على سبيل المثال التطبق للصخور الرسوبية.

وضمن الصخور الرسوبية يميز النسيج الكتلي (غير المتطبق) والنسيج المتطبق. فالنسيج المتطبق هو أكثر انتشاراً ضمن الصخور الرسوبية وهو يتميز بوجود طبقات أو طبيقات ضمن الصخور مميزة بتركيبها وببنيتها وبلونها ...الخ . وبحسب طبيعة النسيج المتطبق يقسم إلى نسيج عدسي, متوازي, مائل ...الخ . ويتصف هذا النسيج بتناوب الطبقات المنفصلة والطبيقات وهذا عائد إلى التغيرات الفصلية أو الطويلة الأمد في ظروف الترسيب.

هذا وعند وصف نسيج الصخور فإنه ينبغي وبوضوح التمييز بين الخصائص النسيجية للصخر نفسه (ضمن النمط البتروغرافي الواحد) وخصائص تكوين كل التشكيلة الصخرية (الماسيف) فينبغي تميز تطبق الصخر عن تطبق التشكيلة الصخرية وعن الحدود العليا والسفلى للسماكة الرسوبية التي تفصلها عن الطبقة المغطية وعن طبقة الأساس وكذلك عن الطبقات الرسوبية المرتبط تشكلها بالحركات التكتونية أي الحركات الاهتزازية للقشرة الأرضية والتي تسبب تغيراً في ظروف تراكم الرسوبات. وإلى مؤشرات النسيج (دلائل, علائم) التي تصف سماكة الصخور بشكل عام يمكن أن ننسب أيضا الاقتطاعات الأولية للصخور المغماتية وتشققاتها.

ج. الفراغات الصخرية: وتعتبر من أهم الخصائص البنيوية والنسيجية التي تصف الصخور وبحسب الفراغات الموجودة في الصخور يمكن أن تكون مسامية أو تشققية.

الفراغات المسامية: تعتبر جميع الصخور منظومات مسامية إن العناصر البنيوية المشكلة للصخور عند عدم التصاقها الكامل مع بعضها البعض تؤدي إلى تشكل فواصل مختلفة القياس ويشكل حجمها الإجمالي ما يطلق عليه اسم الفراغ المسامي في الصخر يعبر عن الفراغ المسامي إما من خلال المسامية أو معامل المسامية. فالمسامية (n) هي نسبة حجم المسامات إلى حجم الصخر بالكامل أما عامل المسامية (e) فهو نسبة حجم الفراغات إلى حجم المكونات الصلبة (الجزء الصلب من الصخر) يعبر عن المسامية عادةً بنسبة مئوية, بينما عامل المسامية يعبر عنه عادةً كجزء من الواحد.

المسامية وعامل المسامية يمكن تحديدهما عند وجود معطيات عن كثافة المكونات الصلبة للصخر (ρ_s) وكثافة الهيكل الصخري (ρ_d) وفق الآتي:

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$$

$$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s$$

وترتبط قيمة (n) و (e) فيما بينهما بالعلاقتين التاليتين:

$$e = n / (1 - n)$$

$$n = e / (1 + e)$$

وبحسب طبيعة مسامية الصخور فإنها تقسم إلى مسامية مفتوحة ومغلقة وعامة. تسمى المسامية مغلقة إذا كانت معزولة بعضها عن بعض ولا تملك أية علاقة مع الغلاف الجوي، أما المسامية المفتوحة فتتميز بوجود مثل هذه العلاقة. ويشكل مجموع قيمة المسامية المفتوحة والمغلقة ما نسميه بالمسامية العامة.

تتأرجح قيمة مسامية الصخور ضمن حدود كبيرة من أقل من 1% وحتى 50% وأكثر. وأكبر قيمة للمسامية (50 – 80 %) , تتمتع بها الرسوبات الناعمة التبعثر (الغضارية) غير المتعرضة لتصخر ملحوظ. أما المسامية العالية (50 – 60 %) فتميز بعض أنواع الصخور النارية التدفقية (تراخيت, طف بركاني وغيره) وأقل قيمة للمسامية (أقل من 1 %) فتتمتع بها الصخور النارية المندسة غير المجواة والكثير من الصخور المتحولة، مسامية أغلب الصخور الرسوبية وبحسب درجة التصخر تتغير من عدة نسب وحتى 25 – 30% فهي في الأحجار الرملية تبلغ 25 – 30% وفي الصخور الكربوناتية تتراوح بين 2 – 3 وحتى 20 – 30% ، أحيانا تكون قيمة المسامية العامة للصخر غير كافية لتقييم صفاته. فهذه الصفات لا تتعلق فقط بالحجم الإجمالي للمسامات ولكن بمقاساتها وأشكالها. فكما هو معروف على سبيل المثال عند نفس المسامية يمكن أن تنضغط الصخور بشكل مختلف. ففي الصخور الغضارية تقود زيادة المسامية إلى انخفاض النفوذية المائية بينما في حالة الصخور التجمعية مع زيادة المسامية العامة يلاحظ تأثير معاكس.

في الصخور غالباً تصادف بنفس الوقت عدة أشكال من المسامية تسمى المسامات التي تنشأ مع تشكل الصخور باسم المسامية الأولية (تتواجد في الصخور الكيميائية بين بلوراتها وحباتها وفي الصخور الحطامية بين حباتها كما تلاحظ بين مستويات تنضد الصخور الرسوبية, كذلك تتشكل نتيجة انطلاق الفقاعات الغازية الموجودة داخل الصخور والتي تكون بحالة سائلة كما في حالة الصخور النارية)، أما المسامات التي تنشأ بعد تشكل الصخور فتسمى بالمسامية الثانوية (مسامات الانحلال الجزئي وإعادة التبلور والدلمتة والتعرية وغيرها).

<u>الفراغات التشققية</u>: إن تقييم الفراغية العامة للصخر في حالات كثيرة لا يمكن تنفيذها بدون حساب الشقوقية لهذه الصخور, فكثير من الصخور وخاصة المغماتية والمتحولة عند مسامية 1 – 5% يمكن أن تملك فراغات تشققية تبلغ 10 – 20% ، هذا وعند دراسة الصخور توجد صعوبة في فصل الفراغات المسامية عن الفراغات التشققية طالما أنه ينظر إلى التشققية بأنها مسامية خطية، بحسب عرض الشقوق تقسم إلى شقوق مجهرية (1mm >) , صغيرة (1–5 مم), متوسطة (5–20 مم)، كبيرة (20–100مم) وكبيرة جداً أكبر من 100مم .

وبحسب المؤشر المنشئي يمكن تمييز الأنواع التالية من الفراغات التشققية:

- **تشققية أولية (منشئية) تنشأ أثناء تشكل الصخور.**
- **شقوق تكتونية: تتشكل نتيجة التشوهات التكتونية للصخور.**
- **شقوق خارجية: تتشكل نتيجة عمليات التجوية أو نتيجة الانزلاقات والانهيارات والانحلالية وغيرها.**

ينبغي الإشارة إلى أن الشقوق الأولية والشقوق التكتونية تشكل كقاعدة شبكة تشقق موجهة وبالتالي تعتبر هندسياً سبباً أساسياً في الكثير من الخواص الفيزيائية والفيزياميكانيكية للصخور.

وعند حل المسائل الجيوهندسية لا يكتفى بوصف الفراغات التشققية وانما لابد من إجراء تقييم كمي لها. لهذا نستخدم ما يسمى بعامل التشقيقية (K_T) والذي يقصد به نسبة مساحة الشقوق (في أي مقطع) إلى مساحة الجزء الذي تتم قياسات الشقوق عليه أي:

$$K_T = (F.100 / S) \%$$

حيث أن:

F مجموع مساحة الشقوق في المنطقة المدروسة.

S مساحة هذه المنطقة.

وحسب قيمة عامل التشققية الفراغية تصنف تشققية الصخور وفق ما يلي جدول (1)

درجة التشققية	قيمة عامل التشققة الفراغية	صفات الشقوق
ضعيفة	< 2	الشقوق الدقيقة عرضها حتى 1مم وبعض الشقوق يصل عرضها إلى وتغيب الشقوق المتوسطة والكبيرة
متوسطة	2 – 5	إضافة إلى الشقوق الدقيقة توجد شقوق بعرض 2–5مم وبعض الشقوق يصل عرضها إلى 5–20مم
عالية	5 – 10	إلى جانب الشقوق الصغيرة توجد شقوق كبيرة عرضها 20–100مم
عالية جداً	> 10	إلى جانب الشقوق الصغيرة توجد شقوق كبيرة وكبيرة جداً

وفي السنوات الأخيرة تستخدم على نطاق واسع الطرائق الجيوفيزيائية للتقييم الكمي للفراغات التشقيقية.

د. تأثير البنية والنسيج على خواص الصخور: كما ذكرنا سابقاً تعتبر البنية والنسيج من أهم مؤشرات الصخور التي تحدد خواصها فكما هو معروف جيداً على سبيل المثال ضمن الصخور أنه ضمن الصخور المغماتية والمتحولة فإن الصخور الأكثر متانة وثبات أمام عمليات التجوية هي الصخور التامة التبلور وذات البنية المتساوية الحبات. وعند ذلك كلما كان مقاس البلورات عند هذه الصخور أصغر كلما كانت متانتها أكبر، وهذا يوضح بشكل أساسي بسببين هما:

أولاً: مع تناقص مقاس البلورات تنخفض شوائب بنيتها وتزداد متانة البلورات نفسها, وثانياً: تزداد كمية سطوح التماس بين العناصر البنيوية ووفقاً لذلك تقل قيمة الجهد (التوتر) المؤثر على واحدة سطوح التماس عند تطبيق حمولة خارجية.

إن الصخور ذات البلورات الكبيرة وبصورة خاصة عند عدم تساوي مقاسات هذه البلورات (بورفيرية) وعند عدم تساوي المسامية فإن بنياتها تتمتع بمتانة أقل، وعند وجود بلورات كبيرة في مثل هذه الصخور (وأيضاً مسامات كبيرة) فإن متانتها تتناقص بشدة بشكل عام عند التأثير عليها بحمولة ميكانيكية أو عند تغيرات حادة لدرجة الحرارة.

التأثير الكبير على خواص الصخور المغماتية والمتحولة يظهره نسيج هذه الصخور فالصخور ذات النسيج الكتلي عادة لا تتمتع بالخواص الأنيزوتروبية وأكثر ثباتاً أمام عمليات التجوبة، أما الصخور ذات النسيج المتورق أو الصفحي أو التدفقي فتتخرب بسهولة عند عمليات التجوبة وتأثير الحمولات الخارجية وتتمتع خواصها الفيزيائية والفيزياميكانيكية بالأنيزوتروبية.

فالصخور الحطامية الملتحمة بملاط تتعلق خواصها بالخواص البنيوية للحبات والكسارات الفلزية وأيضا بتركيب الملاط ونوعه. فالصخور الأكثر متانة وثباتاً هي الصخور التجمعية المؤلفة من كسارات وحبات فلزية متوسطة وناعمة ومتجانسة المقاييس وذات ملاط كوارتزي, أما الصخور التجمعية المؤلفة من حبات وكسارات فلزية كبيرة وخشنة فتتمتع بمتانة أقل وتتخرب بسهولة وعند وجود ملاط غضاري فإن متانة الصخور الحطامية الملتحمة بملاط تنخفض بشكل ملحوظ.

إن الكثير من خواص الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط يرتبط تقريباً بعلاقة خطية مع مساميتها، فمع زيادة المسامية تزداد النفوذية للماء أو الهواء لهذه الصخور وتنخفض المتانة ويزداد التشوه.

كما أنه ضمن الخواص النسيجية لهذه الصخور والتي تؤثر على خواصها الجيوهندسية ينبغي الإشارة إلى التطبق الذي ترتبط معه عادةً التشققية المنشئية وكلا العاملان يقود إلى خاصية الانيزوتروبية التي تظهر بوضوح في خواص هذه الصخور بينما تغيب عند الصخور ذات النسيخ الكتلي أو تظهر بشكل ضعيف جداً.

إن وجود الملاط الغضاري يضعف الروابط البنيوية في هذه الصخور وهذا يتجلى في انخفاض متانتها وظهور تشوهات سيلانية عند الحمولات الكبيرة.

ضمن الصخور الرسوبية الكيميائية والعضوية أكثر الصخور متانةً وثباتاً هي الصخور الكلسية المبلورة والدولوميت ذات البنيات المؤلفة من حبات صغيرة ومتوسطة متساوية المقاييس وأضعف هذه الصخور متانةً وثباتاً هي الصخور الكربوناتية ذات البنيات الأوليتية أو العضوية وكذلك الصخور السيليسية ذات البنية العضوية. التأثير الكبير على خواص الصخور المذكورة أعلاه تظهره مسامية هذه الصخور.

إن المجال الكبير لتغير المتانة والطابع المختلف لتشوه الصخور الكيميائية والعضوية يعود إلى التنوع الكبير في روابطها البنيوية. أما من أهم أسباب المتانة القليلة لمجموعة الصخور الكربوناتية والسيليسية (الحوار, المارل, الحجر الكلسي الأوليتي, الدولوميت) فهو تمتعها بنمط البنيات المختلطة (تجمعية, تخثرية ...الخ) لذلك فإن هذه الصخور تتمتع بخاصية اللدونة عند الرطوبة وتظهر التشوهات السيلانية تحت تأثير الحمولات.

إن تأثير الصفات البنيوية والنسيجية على خواص الصخور تظهر بشكل واضح عند الصخور الحطامية المفككة والصخور الناعمة التبعثر (المرتبطة ملاط ضعيف). فلقد أوضحنا سابقاً بأن وجود اختلاف بين خواص كل من الرمل والغضار عائد إلى تركيب هذه الصخور وتبعثرها. فالرمل ليس لدناً ولا ينتفخ ويرشح الماء منه بشكل جيد وضعيف الانضغاط تحت تأثير الحمولة الستاتيكية ولا يتمتع بأي ارتباط. وبالاختلاف عن الرمل فإن الغضار يتمتع باللدونة وبخاصية الانتفاخ وعملياً لا يرشح منه الماء وينضغط بشدة تحت تأثير الحمولات ويتمتع بعلاقة ارتباط. وضمن الصخور الغضارية الأكثر انضغاطية والأقل متانة هي مجموعة المونتموريلونيت، إنما الأكثر ثباتاً وأقل انضغاطية هي مجموعة الكاولينيت وهذا عائد إلي طريقة اجتماع صفائح الوحدات الأساسية المكونة للصخور الغضارية.

إن خواص الرمال والغضار تتعلق بشكل أساسي بمساميتها، فعند تراص هذه الصخور فإن كمية التماسات أو الالتصاقات بين العناصر البنيوية تزداد ومن ثم تزداد متانة الصخور وعند ذلك تتناقص نفوذيتها المائية.

وليس أقل تأثيراً على خواص الصخور المفككة والصخور الناعمة التبعثر تظهره الخواص النسيجية فوجود تطبق واضح أو مجهري يقود إلى الأنيزوتروبية الحادة لخواص هذه الصخور. وهنا نشير إلى أنه عند الصخور الغضارية الناعمة التبعثر يمكن أن يكون سبب الانيزوتروبية ليس التطبق وإنما وجود بنية مجهرية موجهة (على الأغلب التوجه للعناصر البنيويّة في مستو محدد).

كذلك فإن خواص الصخور المفككة والصخور الغضارية لا تتعلق فقط بتبعثرها ولكن بطبيعة الروابط البنيوية. فالمتانة الضعيفة لسطوح التلاصق عند الصخور الحطامية الخشنة (عند غياب المادة المالئة الغضارية) وكذلك عند الصخور الرملية أو حسب سلوكها كمنظومة سريعة الانهيار.

وعند الصخور الغضارية وتبعاً لدرجة تصلبها يمكن أن تكون متطورة مختلف البنيات والروابط وبالتوافق مع ذلك فإن متانتها يمكن أن تتغير من أجزاء مئوية من الواحد وحتى عدة ميغا باسكالات بينما طبيعة التشوه تتغير من اللدونة وحتى الخواص السيلانية.

تصنيف الصخور:

أ. مفاهيم عامة (أنواع التصانيف)

تختلف الصخور كثيراً بمنشئها وتركيبها وبنيتها وخواصها ولا يمكن دراسة خواص هذه الصخور إلا بترتيبها وتنظيمها في نظام معين (أي تصنيفها) فالتصنيف هو القسم الأساسي لأي علم طبيعي والمرحلة الأولى والهامة للاستنتاج العام للمعطيات. ويعتبر تصنيف الصخور في الجيولوجيا الهندسية وسيلة وطريقة لدراستها والتعرف عليها وهو هام وضروري لحل المسائل التالية:

- تقسيم كل الصخور المتنوعة الموجودة في الطبيعة إلى مجموعات مختلفة بشكل جوهري بالمؤشرات المنشئية والبتروغرافية وبالخواص الإنشائية.
- إنشاء خرائط ومقاطع ومخططات جيوهندسية.
- تعيين تركيب وحجم وطريقة واتجاه الدراسة الجيوهندسية للصخور.
- اختيار طرائق تحسين خواص الصخور.

إن إيجاد تصنيف جيولوجي ـ هندسي وحيد للصخور لم يتم بعد وهذا يعود إلى النقص في دراسة خواص الصخور والصعوبة في إيجاد تصنيف يؤمن مختلف متطلبات التطبيقات الهندسية هذا وتوجد عدة تصانيف هي:

التصانيف العامة: وتشمل كل أنماط الصخور الأكثر انتشاراً في الطبيعة ووصفها من وجهة نظر جيوهندسية. وهي تقوم على أساس منشئي. ونقصد بالأساس المنشئي ليس فقط عملية نشوء الصخور ولكن التغيرات اللاحقة التي تتعرض لها الصخور (خلال حياتها الجيولوجية) وعند مثل هذا الإنشاء فإن التصنيف العام للصخور يظهر الخواص الجيوهندسية لهذه الصخور مع خواصها المنشئية ويتابع تغيرات هذه الخواص من مجموعة صخرية إلى أخرى كما ويعتبر هذا التصنيف الأساس الذي يجب أن تقام عليه التصانيف الأخرى.

التصانيف الخاصة: تهتم بتقسيم الصخور وفقاً لمتطلبات هذا النوع أو ذاك من الإنشاءات فمثلاً أنماط الصخور الصلبة المميزة يمكن أن تكون مقسومة إلى أنواع: حسب مقاومتها المؤقتة للانضغاط أحادي المحور, وحسب درجة التشقق, وكذلك حسب درجة التجوية ....الخ، وكل نوع من هذه الأنواع يعتبر تصنيفاً خاصاً من الصخور الصلبة. فمثلاً الصخور الرملية يمكن وبحسب تركيبها الغرانومتري وضعها بتفصيل كبير أكثر مما هو منفذ في التصنيف العام وكل تقسيماتها الجديدة تعتبر تصنيفات خاصة للصخور الرملية وكذلك الأمر بالنسبة للصخور الغضارية ولصخور اللوس وأيضاً للترب والتورف.

التصانيف الإقليمية: وفيها تدرس الصخور منسوبة إلى منطقة معينة وعند إقامتها يتم الانطلاق من التصورات عن التشكيلات الجيولوجية والسحنات وفي أساس هذا التصنيف يجب أن تؤخذ (وتتوضع) تقسيمات الصخور الموجودة في المنطقة حسب العمر والمنشأ.

التصانيف الفرعية: وتوضع وفقاً لمتطلبات الإنشاءات الهندسية المحددة كتصنيف الصخور تبعاً للأغراض المنجمة حيث تقسم الصخور وفقاً لحاجتها للتدعيم بعد أعمال الحفر إلى الأنواع التالية: صخور كتلية قوية لا تحتاج إلى تدعيم وصخور ضعيفة تحتاج إلى تدعيم أو التصنيف بغرض إنشاء الأنفاق (صخور متماسكة, صخور متطبقة, صخور مشققة, صخور كتلية, صخور مهشمة, صخور شديدة الانتفاخ, صخور قليلة الانتفاخ) وغير ذلك.

إن التصانيف العامة تعتبر أساساً لكل التصانيف الأخرى لذلك فإن تحديدها بشكل صحيح يتمتع بأهمية كبرى .

ب. مبادئ إقامة التصانيف العامة للصخور

تصنف كل تنوعات الترب المصادفة في الطبيعة في مجموعات وفق مبادئ ومؤشرات مختلفة. إن أول تصنيف للصخور كما ذكرنا سابقاً قسم الصخور بحسب خاصية واحدة لهذه الصخور أو اثنين أو ثلاثة, على سبيل المثال بحسب قابليتها للانضغاط وللانحلال. ويبدو هذا للوهلة الأولى جيداً حيث في أساسه تستقر أهم خواص الصخور لكن في الحقيقة هذا المبدأ لا يملك أهمية كبيرة لأنه يوحد الصخور بحسب مؤشر أو عدة مؤشرات هامة دون أن يأخذ بعين الاعتبار منشأها وخصائصها البتروغرافية. هذا حتماً يقود إلى أنه إذا قسمنا الصخور إلى مجموعات بحسب هذا المؤشر فإن دراستها في حقل علمي غالباً ما يظهر بأنها مختلفة جداً بخواصها وسنوضح هذا بمثالين:

المثال الأول:

هو أن الصخور المغماتية والمتحولة والصخور الرسوبية الملتحمة بملاط يمكن تقسيمها بحسب قيمة المقاومة المؤقتة للانضغاط أحادي المحور في حالة الإشباع بالماء (Rc) وعند ذلك تميز عدة مجموعات صخرية بدءاً من الصخور المتينة جداً (Rc=120ميغا باسكال) وحتى الصخور الضعيفة المتانة جداً (Rc= 0.1 – 1 ميغا باسكال) ومثل هذا المجال الكبير لمتانة الصخور المشبعة بالماء يعطي إمكانية ليست فقط لتقسيم الصخور إلى أنواع مختلفة ولكن فصل عدة مجموعات متمايزة ضمن التصنيف العام لهذه الصخور. وبناء على ذلك يمكن تمييز المجموعة الصلبة (القاسية) في مجموعة واحدة اعتماداً على قيمة (Rc) حيث تعتمد قيمة (Rc=5 ميغا باسكال) كحد فاصل بين هذه المجموعة والمجموعة شبه الصلبة. وإذا اعتمدنا هذه الفرضية فإنه ضمن الصخور ذات المتانة العالية يمكن أن نذكر الغرانيت والطين الصفحي المبلور والصخور الكلسية وغيرها وعند نفس المتانة لهذه الصخور فإنها تتباين بشكل كبير. فالطين الصفحي وبالاختلاف عن الغرانيت يتمتع بالانيزوتروبية الميكانيكية, بينما الصخور الكلسية تتمتع بقابلية الانحلال التي لابد من أخذها بالحسبان.

وهكذا أيضاً يمكن القول بالنسبة للصخور التي تتصف بمتانة ضعيفة جداً. فضمنها يمكن تمييز عدة مجموعات صخرية مثل الطين الغضاري, الدياتوميت, المارل, الجص وغيرها. وجميع هذه الصخور عند نفس المتانة المنخفضة تملك خواص مختلفة فالجص يتصف بقابلية انحلال لا بأس بها والمارل بالقدرة على الانتفاخ, والدياتوميت عند تخريب البنية الطبيعية وعند رطوبة محددة يتمتع بخواص اللدونة, أما الطين الغضاري فيتمتع بشكل واضح بالأنيزوتروبية.

وهكذا يتضح بأنه عند نفس القيمة بـ (Rc) فإن الصخور تختلف عن بعضها البعض بخواص أخرى وبالتالي تقسم الصخور المغماتية والمتحولة والرسوبية الملتحمة بملاط إلى مجموعتين:

حسب قيمة Rc ليس جيداً, إذ أنه ضمن الصخور شبه الصلبة يقع الطين الغضاري والطف, أما بقية الصخور النارية والمتحولة فتنتسب إلى الصخور القاسية. إلا أن الصعوبة الأساسية تنشأ عند تقسيم مجموعة الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط. ففي هذه الحالة الصخور ذات المنشأ الواحد والمتشابهة بخواصها البتروغرافية تبدو في مجموعتين مختلفتين. فعلى سبيل المثال ينسب الأنهدريت إلى مجموعة الصخور الصلبة, بينما الجص ينسب إلى الصخور شبه الصلبة وكذلك بالنسبة للكونغلوميرا والأحجار الرملية.

إن كل الصخور السولفاتية والكربوناتية ومن وجهة نظر بعض العلماء (سرغيف ...) توجد تصنيفاً في مجموعة واحدة فهذه الصخور متقاربة بمتانتها, كذلك تتمتع هذه الصخور بخاصية الانحلال وهذا ما يفسر تعرضها لتشكل المظاهر الكارستية وفي هذا تتجلى وحدة صخور هذه المجموعة.

وكذلك يمكن القول عن الصخور الكونغلوميراتية والرملية وغيرها من الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط من حيث متانتها معبراً عنها من خلال قيمة Rc إلا أن الأكثر أهمية في هذه الصخور هو أن متانة هذه الصخور تتعلق بالدرجة الأولى بتركيب وبنية ملاطها وفي هذا وحدة صخور هذه المجموعة.

وهكذا يتضح من هذا المثال بأن إنشاء تصنيف عام على أساس تقسيم الصخور الصلبة بحسب مؤشر المتانة يعتبر غير ملائم.

المثال الثاني:

يخص الصخور الناعمة التبعثر، ففي هذا الصف تدخل صخور مختلفة التبعثر. إن أكثر مجموعات هذه الصخور تعقيداً هي الصخور التي تحوي على جزيئات شديدة التبعثر توافق الجزيئات الفردية والغرينية بالمقاس (الصخور الغضارية وصخور اللوس) وكنماذج لهذه الصخور نذكر الغضار واللوس. فللغضار كما للوس تعتبر اللدونة من أهم المؤشرات ولكنهما يختلفان بعدد اللدونة وبدرجة الكثافة وعند التأثيرات المتبادلة بين الحبات الفلزية والماء عند الغضار تلاحظ زيادة في حجم الصخور (انتفاخ) أما عند اللوس فيلاحظ العكس (انضغاط الحجم) أي انكماش وبالتالي في أساس تقسيم الصخور المبعثرة لا تستخدم صفة واحدة.

إن المثالان السابقان يسمحان بالوصول إلى خلاصة مفادها أنه عند إنشاء (وضع) تصنيف عام للصخور لا يجب الاقتصار (الاعتماد) على صفة وحيدة للصخور. فعند دراسة بعض الصفات المنفصلة يمكن تقسيم الصخور إلى أشكال وتحت أشكال وأنواع. إلا أن التصنيف العام الذي يشكل المدخل الملائم لحل كل المسائل في الجيولوجيا الهندسية هو الذي يعتمد منشأ الصخور كمؤشر أساسي حيث تقسم الصخور وفق هذا المبدأ إلى صفوف, مجموعات، تحت مجموعات, أنماط. فعند المؤشر المنشئي يجب حساب العلاقة المتبادلة بين المجموعات الصخرية المختلفة.

فالصخور المغماتية تعتبر صخوراً أولية فعند تأثير عمليات التجوية تتشكل الصخور الرسوبية. وعند ذلك تتحطم الصخور المغماتية بشكل متباين. ففي بداية مرحلة عملية التجوية وعندما تسيطر التجوية الفيزيائية تتشكل الصخور الرسوبية الحطامية (التجمعية والرملية) وعند التطور الحاد لعمليات التجوية أي عندما تسيطر التجوية الكيميائية يحدث تغير في التركيب الفلزي للصخور وتتشكل الفلزات الغضارية التي وجودها في الصخور يشترط صفات خاصة (اللدونة وغيرها). وعلى الصخور الرسوبية تتشكل الترب ومن الترب والصخور الرسوبية تنقل المياه بعض العناصر وتوضعها في الأحواض والتي يقود تركيزها في هذه الأحواض إلى تشكل رسوبات كيميائية وبيوكيميائية (صخور عضوية). كما أن الأملاح والأكاسيد يمكن أن تلعب دور الملاط بين كسارات الصخور والحبات الفلزية المنفصلة وتتشكل الصخور الرسوبية الملتحمة بملاط.

إن أية صخور تحت تأثير عمليات التحول تتحول إلى صخور متحولة. وتحت تأثير عمليات التجوية الفيزيائية فإن الصخور المتحولة والترسبات الكيميائية والصخور الرسوبية الملتحمة بملاط تتحول من جديد إلى صخور رسوبية غير ملتحمة بملاط.

هذه الدورة الطبيعية للصخور تتخرب أكثر فأكثر من قبل الإنسان الذي يشكل الصخور الاصطناعية.

ج. التصنيف العام للصخور

لقد ذكرنا أعلاه بأن المؤشر الجيولوجي الأساسي لتقسيم مختلف الصخور التي تصادف في القشرة الأرضية هو منشأ هذه الصخور. وتبعاً لذلك تميز مجموعات الصخور المغماتية والصخور المتحولة, والصخور الرسوبية وكذلك الصخور الاصطناعية. وكل مجموعة من هذه الصخور تتمتع بعدد من المؤشرات والصفات الخاصة بها ومن أهمها:

التركيب الفلزي, البنية, النسيج, ظروف التوضع, الحالة الفيزيائية والصفات الفيزيائية والميكانيكية. وعلى أساس كل هذه المؤشرات المنشئية الأساسية يمكن تمييز عدد كبير من الأنماط البتروغرافية للصخور.

إن مختلف الأنماط المنشئية والبتروغرافية للصخور يمكن أن توجد في مجموعات محددة بصفاتها الفيزيائية ــ الميكانيكية (المتانة, التشوه, النفوذية المائية ....الخ) وانطلاقاً من هذا تقسم الصخور إلى صفين أساسيين يختلفان بشكل حاد بصفاتهما الجيولوجية ــ الهندسية:

- صخور صلبة تسود فيها الروابط البنيوية البلورية وهي تتمتع بمتانة عالية وتشوه قليل وتكون في أغلب الأحيان مشققة أو مكرستة في حالة الصخور الكربوناتية. وتعتبر أماكن انتشار هذه الصخور في أغلب الأحيان ملائمة لإنشاء مختلف المنشآت الهندسية بدون استخدام تدابير معقدة لتأمين ثباتها وتشمل هذه الصخور كل من الصخور المغماتية والمتحولة والرسوبية ذات الروابط البنيوية البلورية (الصخور الكيميائية).
- صخور رخوة (مفككة) ويكون فيها دور الروابط البنيوية البلورية ضعيفا, وهذه الصخور تتصف بمتانة أقل بكثير من المجموعة السابقة وتشوه كبير جداً, كما تتصف بعض أنواع هذه الصخور بنفوذية مائية عالية, وهي تشمل مختلف الأنماط المنشئية للصخور الرسوبية وبشكل خاص تلك التي تعود لعمر الرباعي.

إن الاختلاف في الصفات الجيوهندسية لهذين الصنفين من الصخور كبير جداً.

هذا ويضاف عادةً في الدراسات الجيوهندسية إلى الصفين السابقين مجموعة الصخور الاصطناعية الصلبة للصف الأول وتمتاز بأن الروابط البنيوية فيها من صنع الإنسان وهي ذات متانة عالية وقابلية قليلة للانحلال، وأيضاً مجموعة الصخور الاصطناعية الرخوة إلى الصف الثاني وتمتاز بأن الروابط البنيوية فيها مختلفة وذلك تبعاً لأسلوب تشكل الصخر الاصطناعي وبشكل عام تكون الروابط البنيوية القاسية فيها ثانوية. وتتعلق خواص هذه الصخور بأسلوب الحصول عليها وصفات الروابط البنيوية فيها.

ويقسم كل صف إلى عدة مجموعات وكل مجموعة تقسم بدورها إلى عدة تحت مجموعات وذلك على أساس المؤشرات المنشئية وفي كل تحت مجموعة يمكن تمييز عدة أنماط حسب الخصائص البتروغرافية، هذا ويعتبر تقسيم الصخور الرخوة أكثر صعوبة حيث تسود فيها الروابط البنيوية ذات الطبيعة الفيزيائية المتنوعة ويميز ضمنها مجموعتين أساسيتين: مجموعة الصخور الحطامية المفككة (غير الملتحمة بملاط) ومجموعة الصخور الرسوبية الغضارية وصخور اللوس.

انتهت المحاضرة