مقرر الجيولوجيا الهندسية
السنة الثانية جيولوجيا

المحاضرة الثانية

الفصل الأول
المكونات الأساسية للصخور

أ.د محمد عيسى

يدخل في تركيب الصخور عناصر متنوعة وهي تجمع في ثلاث مجموعات رئيسة:

1. المكونات الصلبة: تتألف من مختلف الفلزات والمواد العضوية والاتحادات الفلزية العضوية والمياه بالحالة الصلبة, وعند الدراسات الجيوهندسية تدرس فقط الفلزات الأساسية المشكلة للصخور والتي تتواجد فيها بكميات لا بأس بها وتظهر تأثير ملحوظاً على خواص هذه الصخور.

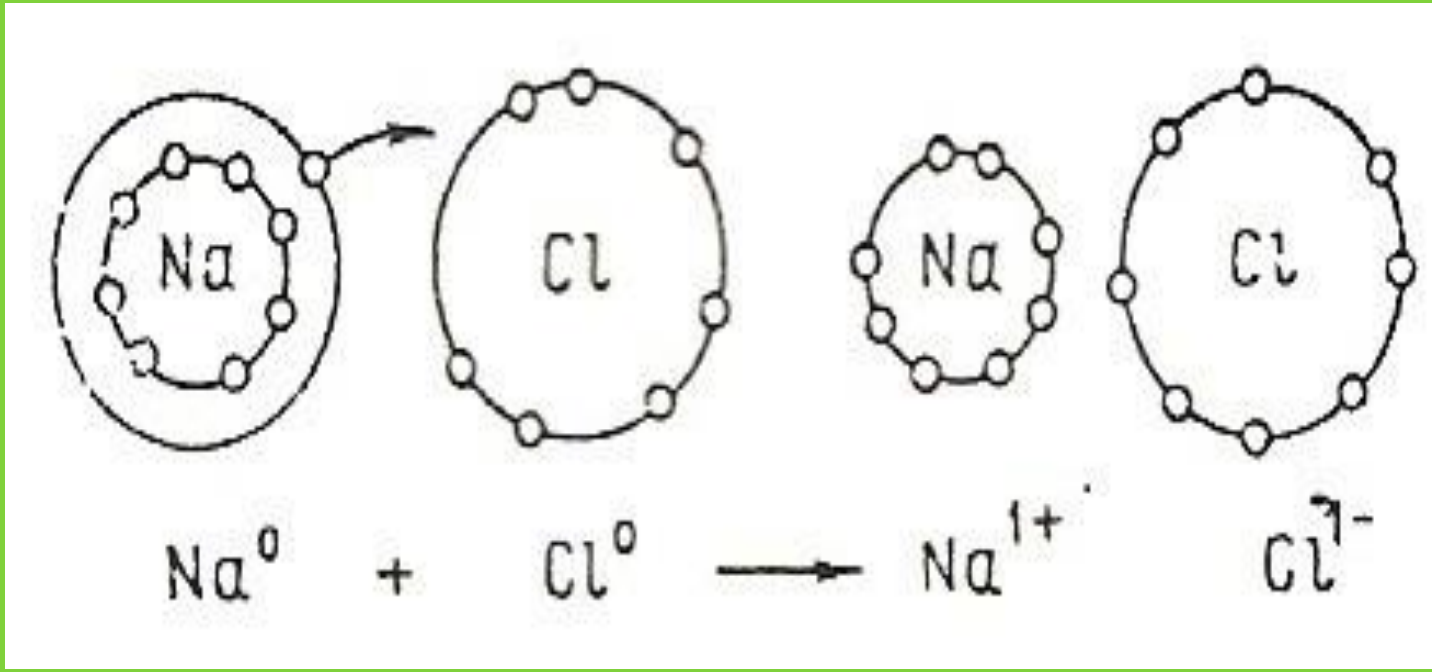
1-1- التركيب الفلزي: يبلغ عدد الفلزات التي تشارك في تركيب الصخور حوالي 100 فلز ، يدخل بعضها في تركيب الصخور بشكل رئيس وتسمى بالفلزات الرئيسة ، ويتواجد بعضها الآخر بنسب قليلة (أقل من 50%) وتسمى بالفلزات الثانوية ، وقد يصادف بعضها الآخر بنسب قليلة جداً وتسمى بالفلزات العرضية , وتعتبر فلزات الصفاح البوتاسي والكوارتز والبيروكسينات والميكا والأوليفين أكثر شيوعاً في الصخور النارية أما بقية الفلزات فتصادف بشكل نادر.

ويتشابه التركيب الفلزي للصخور المتحولة تشابهاً كبيراً مع التركيب الفلزي للصخور النارية , إلا أنه إضافةً إلى فلزات الصخور النارية تصادف فلزات أخرى تعتبر مميزة للصخور المتحولة كالغارنت والديستين والاندالوزيت والكلوريت والايبدوت وغيرها ، والتي تظهر بدورها تأثيراً كبيراً على خواص هذه الصخور.

ويسيطر في تركيب الصخور الرسوبية الكوارتز والصفاح البوتاسي والميكا إلى جانب بعض الفلزات الواسعة الانتشار مثل الفلزات الغضارية والكربونات والسولفات والهاليدات وغيرها من الفلزات إلى جانب بعض المواد العضوية والفلزية العضوية.

تتمتع كل فلزات الصخور تقريباً ببنية بلورية تظهر من خلال بنيتها الداخلية وشكلها الخارجي , كما يصادف عدد قليل من الفلزات بشكل غير مبلور ، وعند دراسة الفلزات في الأغراض الجيوهندسية تعطى أهمية خاصة لخواصها الفيزيائية والفيزيا ــ كيميائية والفيزيا ــ ميكانيكية والتي تتعلق بالبنية البلورية لهذه الفلزات. ويتحدد ثبات البنية البلورية بطاقة واتجاه الرابطة بين الذرات المنفصلة. وانطلاقاً من هذا ينبغي أن يجري تقسيم الفلزات في الأغراض الجيوهندسية بواسطة النمط المسيطر للرابطة الكيميائية في هذه الفلزات وليس بحسب تركيبها الكيميائي كما هو الحال في علم الفلزات.

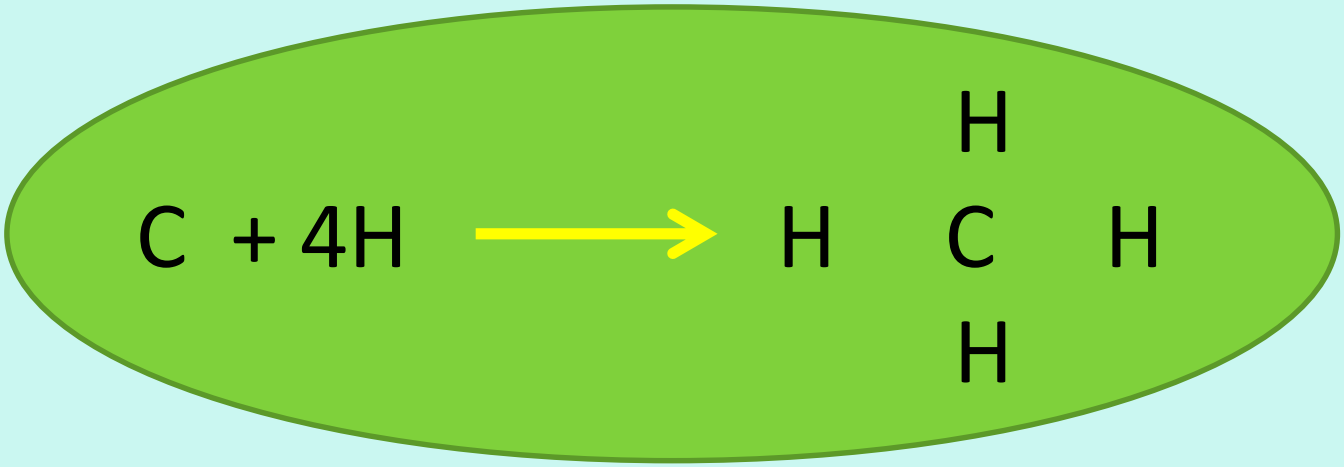
إن الروابط بين الذرات في البنيات البلورية للفلزات الأساسية المشكلة للصخور يمكن أن تكون شاردية أو تكافؤية أو هيدروجينية أو جزئية وتعتبر الروابط الشاردية والتكافئية أكثر هذه الروابط ثباتاً.

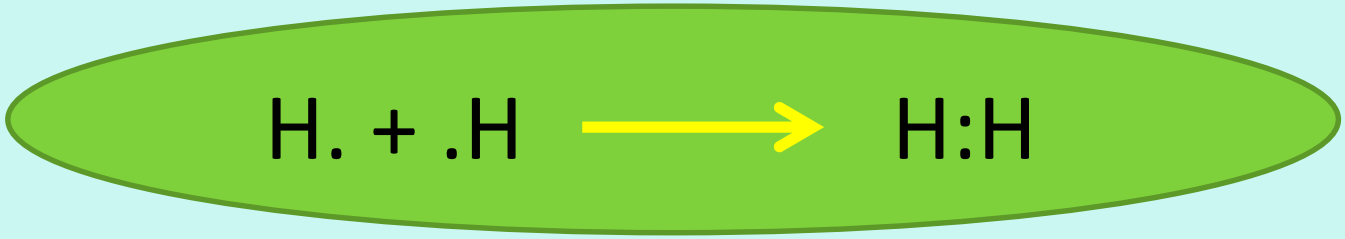


الشكل رقم 1 : مخطط تشكل الرابطة الشاردية عند NaCl

وأكثر الفلزات التي تعتبر نماذج لانتشار هذه الرابطة هي الأملاح البسيطة ، الكربونات , السولفات , الهاليدات , وتمتاز هذه الأملاح بسهولة انحلالها بالماء. وهذا يفسر بالإضعاف الكبير للروابط الشاردية في الوسط المائي.

وإذا كانت الذرات تفقد أو تأخذ نفس العدد من الالكترونات فإنها لا تستطيع أن تأخذ أو تعطي لبعضها البعض وإنما تشترك بالالكترونات المتواجدة في مدارها الخارجي حيث تتحقق الرابطة الكيميائية على حساب زوج الالكترونات سوية. وهذا يتم بطريقة انتقال الالكترونات المنفصلة من مدار إحدى الذرات إلى المدار المشترك الموحد للذرتين وتشكل رابطة قوية بين الذرات تسمى بالرابطة التكافئية. على سبيل المثال في الهيدروجين والميتان يكون على النحو التالي:





تلعب الرابطة التكافؤية دوراً مهماً في تشكيل السيليكات التي تعتبر الفلزات الأساسية المشكلة للصخور النارية والمتحولة والكثير من الصخور الرسوبية.

وأغلب هذه السيليكات تملك روابط شاردية إضافةً إلى الروابط التكافئية ، إلا أن الصفات المميزة لهذه الفلزات هي المتانة العالية والانحلالية الضعيفة وغيرها من الصفات التي تتحدد بوجود الروابط التكافئية في هذه الفلزات.

وفي الاتحادات الحاوية على الهيدروجين يمكن لذرة الهيدروجين وبسهولة أن تنزلق من ذرة إلى ذرة مجاورة وتشكل ما يسمى بالرابطة الهيدروجينية.

وهذا يحدث لأن ذرة الهيدروجين تتمتع بقطر ذري صغير جداً وكذلك لغياب الطبقات الداخلية للالكترونات.

وتنشأ هذه الرابطة عادة بين الذرات الشديدة الكهرسلبية كالفلور والأوكسجين والآزوت. وهذا النوع من الروابط يلعب دوراً مهماً في تشكيل الفلزات الغضارية والمواد العضوية.

وأخيراً فإن الرابطة الجزيئية تعتبر أضعف الروابط وهي تصادف عملياً عند كل الفلزات إلا أن الدور الملحوظ للرابطة الجزيئية يظهر عند الفلزات الغضارية المفككة بدقة.

وهكذا انطلاقاً من نوع الروابط المسيطرة بين الذرات في الفلزات المشكلة للصخور يمكن تمييز خمس مجموعات للاتحادات المختلفة فيما بينها بخواصها الفيزيائية والفيزياكيميائية والفيزياميكانيكية وهي:

- فلزات صف السيليكات الأولية.
- الأملاح البسيطة (الهاليدات , السولفات , الكربونات).
- الفلزات الغضارية.
- المواد العضوية والمعقدات الفلزية ــ العضوية.
- الجليد.

وتسيطر عند فلزات صف السيليكات الأولية الروابط من النوع الشاردي التكافئي ، وعند الأملاح البسيطة الروابط الشاردية ، بينما يظهر تأثير الروابط الهيدروجينية إلى جانب الروابط السابقة في المجموعات الثلاثة الأخيرة.

1-2- مقاس العناصر البنيوية:

تسمى المكونات الصلبة لأغلب الصخور والمؤلفة من بلورات منفصلة ومن حطام هذه البلورات والصخور , بالعناصر البنيوية وتتفاوت العناصر البنيوية في مقاساتها من أجزاء من الميكرون وحتى عشرات السنتيمترات ويقود تغير مقاس هذه العناصر إلى اختلاف كبير بالسطح النوعي للمكونات الصلبة وبالطاقة السطحية له.

وهذا يؤثر بشكل كبير على خواص الصخور ويلاحظ هذا التأثير بشكل خاص عند غياب الروابط البلورية القاسية بين العناصر البنيوية للمكونات الصلبة.

لهذا فان مقاس العناصر البنيوية بالإضافة إلى التركيب الفلزي يعتبر من المؤشرات الهامة للصخور التي تحدد خواصها.

وعند دراسة الصخور النارية والمتحولة يعتبر مقاس البلورات أساساً جيداً لتقسيمها طالما أن هذه الحبات لاتصف فقط هذه الصخور ولكنها تصف ظروف تشكلها ، هذا وتقسم الصخور البلورية وفقاً لمقاس حباتها إلى صخور كبيرة الحبات عندما يكون مقاس البلورات (الحبات) أكبر من 5مم , متوسطة الحبات (2 - 5 مم) , صغيرة الحبات (0.2 – 2 مم) ، ناعمة الحبات أقل من (0.2) ، ومجهريه الحبات حيث لا تلاحظ الحبات بالعين المجردة.

وحسب درجة تجانس هذه الحبات وفقاً لمقاييسها تقسم إلى الأنواع التالية:

- صخور ذات حبات متجانسة المقاييس.
- صخور غير متجانسة الحبات وصخور بورفيرية.

وعند دراسة الصخور الرسوبية الحطامية فإن مقاس مكونات الصخور الرسوبية الحطامية وعلاقاتها الكمية يعتبر من أهم المؤشرات التصنيفية.

ووفقاً لمكونات الصخور الرسوبية الحطامية الملتحمة بملاط تميز الأنواع التالية من الصخور:

- صخور ذات تجمعات حطامية كبيرة.
- صخور ذات مواد حطامية متوسطة.
- صخور ذات مواد حطامية ناعمة.
- صخور ذات مواد حطامية مجهرية.

وضمن الصخور الحطامية غير الملتحمة بملاط (الصخور المفككة) تميز الأنواع التالية:

- مواد حطامية كبيرة (كتل وجلاميد).
- رمال.
- رمال غضارية.
- غضار رملي.
- مواد غضارية.

هذا وتعطى أهمية كبرى لتصنيف المواد الحطامية للصخور الرسوبية حسب مقاساتها وتقوم التصانيف المستخدمة في الجيولوجيا الهندسية على أساس تغير خواص الحبات (الجزئيات) المفصولة حسب مقاساتها , وهذا ما يعطي حدود الأجزاء الغضارية الغرينية (الغبارية) والرملية والحصوية , إذ أنه يتعلق بها تمييز الأنماط البتروغرافية الأساسية للصخور الرسوبية : الغضار , اللوس , الأحجار الرملية والصخور التجميعية.

وقد أظهرت المعطيات التجريبية التي وضحت التغير الحاد للتركيب الفلزي والصفات الفيزيائية والكيميائية للحبات ذات المقاييس الأصغر من (1) ميكرون كأساس لتمييز هذه الحبات في مجموعة منفصلة تسمى بالغضارية باعتبار أن الفلزات الغضارية هي المسيطرة فيها.

وتعتبر العناصر البنيوية ذات القطر الأكبر من 0,05 مم هي الحد الأسفل للحبات الرملية وحبات هذا المقياس تميز بسهولة في الصخور بالعين المجردة ، والمجموعة المؤلفة من مثل هذه الحبات تسلك سلوك المواد السريعة الانهيار.

أما العناصر البنيوية التي مقاساتها أكبر من 2 مم فتنسب إلى المجموعة الحصوية وهي لاتتمتع عملياً بالسعة المائية الجزيئية والارتفاع الشعري للماء كما تتصف بنفوذية مائية عالية وتمثل الحبات ذات المقاييس (40مم) الحد الأعلى للمجموعة الحصوية حسب العالم أخوتين.

وهكذا فإن الحبات الغضارية توجد في المجموعة 0,001 >مم

الغرينية (الترابية) 0,01 - 0,05 مم

الأحجار الرملية 0,05 – 2 مم

الحصوية 2- 4 مم

كما هو في الجدول /1/

الجدول رقم(1): تصنيف العناصر البنيوية للمكونات الصلبة للصخور حسب مقاساتها:

قيمة العناصر المكونة		مقاس العناصر المكونة بالمليمتر	حدود مقاس كل زمرة
الصف	المجموعة		
جلاميد وأحجار	كبيرة	أكبر من 800	أكبر من 200
	متوسطة	800- 400	
	صغيرة	400- 200	
حصى	كبيرة	200- 100	400 - 200
	متوسطة	100- 60	
	صغيرة	60 - 40	
حصباء	كبيرة جداً	40 - 20	40 - 2
	كبيرة	20- 10	
	متوسطة	10- 4	
	صغيرة	4 - 2	
حبات رملية	خشنة	2- 1	2 - 0,05
	كبيرة	1- 0,5	
	متوسطة	0,5 - 0,25	
	صغيرة	0,25- 0,10	
	ناعمة	0,10- 0,05	
حبات غرينية (غبارية)	كبيرة	0,05 - 0,01	0,05 - 0,001
	صغيرة	0,01 - 0,001	
حبات غضارية		أقل من 0,001	أقل من 2 ميكرون

3-1- الخصائص المورفولوجية للعناصر البنيوية:

تتمتع العناصر البنيوية المكونة للصخور بأشكال وسطوح متنوعة لدرجة كبيرة جداً.

وإن درجة تغير شكل العناصر البنيوية تتحدد بشكل كبير بمقاس وصفات الفراغ المسامي وهذا يؤثر أيضاً على النفوذيه المائية والارتفاع الشعري للمياه في الصخور.

ويقصد بشكل الحبات الفلزية والمواد الحطامية مظهرها الخارجي. ففي الصخور النارية تملك الحبات الفلزية التي تتشكل أثناء تبرد الماغما أشكال جيدة الانتظام أو رديئة. أما في الصخور المتحولة فإن نمو وإعادة تبلور الحبات الفلزية يتم في الظروف الحرجة القصوى ، لهذا فإن البلورات في هذه الصخور تتمتع عادةً بأشكال غير منتظمة. وفي الصخور الرسوبية وخاصةً في الصخور الحطامية التجميعية والأحجار الرملية تملك العناصر المكونة لها أشكال متنوعة بدرجة كبيرة.

وتتحدد مورفولوجية الحبات الحطامية بمجموعة من العوامل الأساسية من أهمها:

التركيب الفلزي من خلال المتانة الفيزيائية والثبات للفلزات المشكلة للحبات الحطامية. ومع استمرارية النقل للحبات الفلزية والحطامية فإن أكثر الفلزات التي تحافظ على شكلها هي الفلزات المتينة والثابتة كالكوارتز.

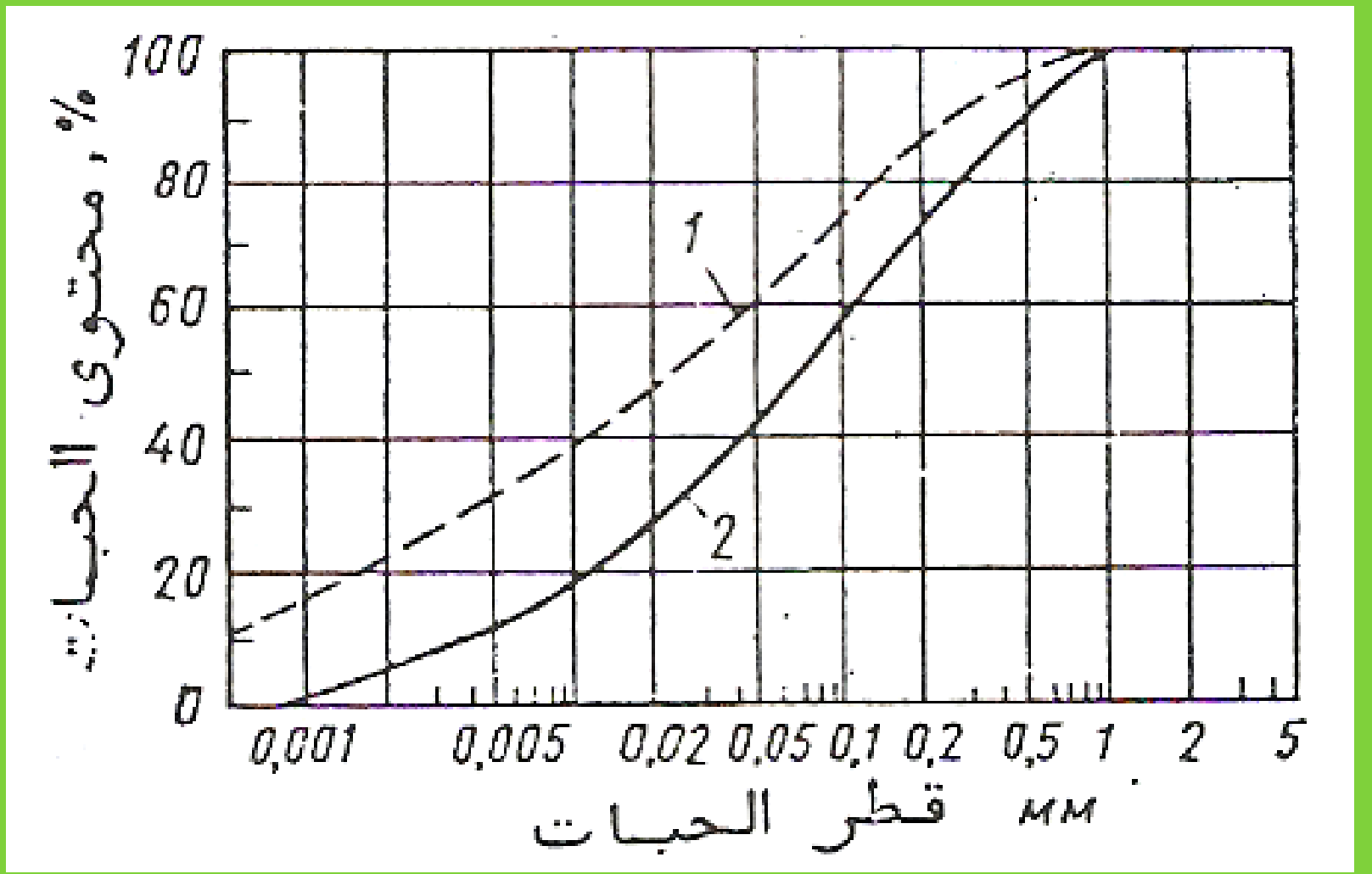
وتتعلق درجة تغير شكل الحبات بمقاسها فالحبات الأولية التي مقاساتها أقل من 0,02 مم وكذلك كل الحبات الغضارية لا تتأثر عملياً أثناء نقلها وإعادة توضعها من جراء وزنها المنخفض ووجود أغشية مائية حافظة على سطوحها. وتزداد درجة تغير شكل الحبات مع زيادة مقاساتها.

كذلك مورفولوجية الحبات تتعلق بظروف نقلها وتوضعها فالتوضعات الرملية الريحية المنشأ يكون تغير شكل حباتها أكبر ما يمكن , أما في الصخور الرملية المتشكلة في الوسط المائي فتتعلق درجة تغير شكل حباتها بمسافة النقل.

4-1- التركيب الحبي وتركيب المجمعات الدقيقة للصخور المفككة:

تتألف غالبية الصخور المفككة من حبات إحدى المجموعات التصنيفية ويعبر عن العلاقة الكمية لمختلف المجموعات في الصخور المفككة بالتركيب الحبي. فالتركيب الحبي يظهر مقاس الحبات وكمية تواجدها في هذا الصخر أو ذلك ويتم تعيينه بواسطة عدة طرائق حيث يعبر عن محتوى كل مجموعة بنسب مئوية وعند إجراء التحليل الحبي للصخور يتحدد محتوى الحبات الأولية فيها ، بمعنى آخر حطام البلورات المنفصلة في الصخور. إلا أنه في صخور كثيرة وخصوصاً في الصخور شديدة التبعثر (الغضارية , الغرينية) يوجد إضافةً إلى الحبات الأولية ما يسمى بالحبات الثانوية التي تمثل المجمعات الدقيقة المتشكلة عند اتحاد بعض الحبات الأولية بتأثير قوى الجذب الجزيئي الناشئة عن ازدياد السطح النوعي للحبات مع تقلص أحجامها.

لهذا ينبغي عند تعيين التركيب الحبي إجراء معالجة خاصة للعينات الصخرية بهدف تحويل الحبات الثانوية إلى حبات أولية ، وعندما يتم حساب الحبات الثانوية في الصخر إضافةً للحبات الأولية ، أي تتعين طبيعة تبعثرها ، يتم التحدث عن تبعثر ثانوي للصخر الذي يوصف بما يسمى التركيب التجميعي الدقيق (المجمعات الدقيقة). ويجب أيضاً تحديد نسب الحبات الثانوية حسب مقاييسها وهذا ما يعرف بالتحليل التجميعي أو تحليل المجمعات الدقيقة وعند الوصف الجيوهندسي للصخور ينبغي معرفة كلا التركيبين (الحبي والتجميعي) فالتركيب الحبي يظهر التبعثر الأعظمي (الأقصى) للصخور ، بينما يعكس التركيب التجميعي الدقيق درجه تجمع الصخور ويبين درجة ترابط هذه الصخور ويستخدم لتحديد طبيعة الروابط البنيوية فيها.



الشكل رقم 2 : مخطط يظهر التركيب الحبي (1) وتركيب المجمعات الدقيقة (2) للصخور الغضارية

ولتعيين عدم تجانس الصخور المفككة يستخدم عامل عدم التجانس :

$$U = d60 / d10$$

d60: قطر الحبات التي يبلغ محتواها في الصخر 60%

d10: ويسمى القطر الفعال وهو قطر الحبات التي يبلغ محتواها في الصخر 10%

ويتم إيجاد كلا القطرين للحبات بواسطة المنحني التكاملي للتركيب الحبي.

وعند عامل عدم تجانس ، للرمال أكبر من 3 وللغضار أكبر من 5 ، تعتبر هذه الصخور غير متجانسة .

أما بالنسبة لتصنيف الصخور الحطامية المفككة فتوجد تصانيف كثيرة تعتمد على التركيب الحبي ومن أهمها التصنيف المقدم من قبل العالم أخوتين جدول (2) وهو يقسم الصخور الغضارية وبنفس الوقت يعكس هذا التصنيف كل تعدد الأنواع للصخور الرملية.

الجدول رقم (2) التصنيف الحبي للصخور الحطامية المفككة حسب اخوتين

اسم الصخر	محتوى الحبات مم (نسبة الحبات)			
	الغضارية أقل من 0.002	الغرينية 0.002 – 0.05	الرملية 0.05 - 2	الحصوية أكبر من 2
غضار ثقيل	أكبر من 60	غير محدود	غير محدود	
غضار	60 – 30	–	أكبر من الحبات الغبارية	
غضار غريني (غباري)	60 – 30	أكبر من الحبات الرملية	–	
غضار رملي ثقيل	30 – 20	–	أكبر من الحبات الغبارية	
غضار رملي ثقيل غباري	30 – 20	أكبر من الحبات الرملية	–	أقل من 10
غضار رملي متوسط	20 – 15	–	أكبر من الحبات الغبارية	
غضار رملي متوسط غباري	20 – 15	أكبر من الحبات الرملية	–	
غضار رملي خفيف	15 – 10	–	أكبر من الحبات الغبارية	
غضار رملي خفيف غباري	15 – 10	أكبر من الحبات الرملية	–	
رمل غضاري ثقيل	10 – 6	–	أكبر من الحبات الغبارية	
رمل غضاري ثقيل	10 – 6	أكبر من الحبات الرملية	–	
رمل غضاري خفيف	6 – 3	–	أكبر من الحبات الغبارية	
رمل غضاري خفيف	6 – 3	أكبر من الحبات الرملية	–	
رمل	أقل من 3	–	أكبر من الحبات الغبارية	

2. المكونات السائلة:

2-1- أشكال تواجد المياه في الصخور:

تتواجد المياه في الصخور بالأطوار الثلاثة السائل والصلب والغازي وهي تقسم إلى الأنواع التالية:

2-1-1- مياه بشكل بخار:

وتتواجد في فراغات ومسامات الصخور والتربة غير المملوءة بالماء.

إن محتوى بخار الماء في الصخر لا يزيد عن 0.001% من الكتلة الكلية للصخر ومع ذلك تلعب هذه المياه دوراً كبيراً في العمليات التي تجري في الصخور حيث أنها تعتبر أولاً الشكل الوحيد للمياه القادرة على التحرك في الصخور عندما تكون رطوبته قليلة ، وثانياً لأنه عند تكاثف البخار على سطح الحبات الصخرية تتشكل الأشكال الأخرى للمياه وبشكل خاص المياه المرتبطة.

تتم حركة بخار الماء من الطبقة ذات المرونة العالية إلى الطبقة الأقل مرونة وإذا وجد بخار الماء في حالة الإشباع ـــ أي عندما يتمتع بمرونة أعظمية عند درجة حرارة معينة ـــ فإن حركته تتمدد فقط بقيمة درجة الحرارة ويكون اتجاه هذه الحركة من الطبقة الأعلى درجة إلى الطبقة ذات درجة الحرارة المنخفضة ، ويقع بخار الماء في الصخر في حالة توازن ديناميكي ثابت مع أشكال المياه الأخرى (وخصوصاً مع المياه المرتبطة) ومع بخار الماء في الغلاف الجوي وعند ظروف محددة يبدأ بالتكاثف.

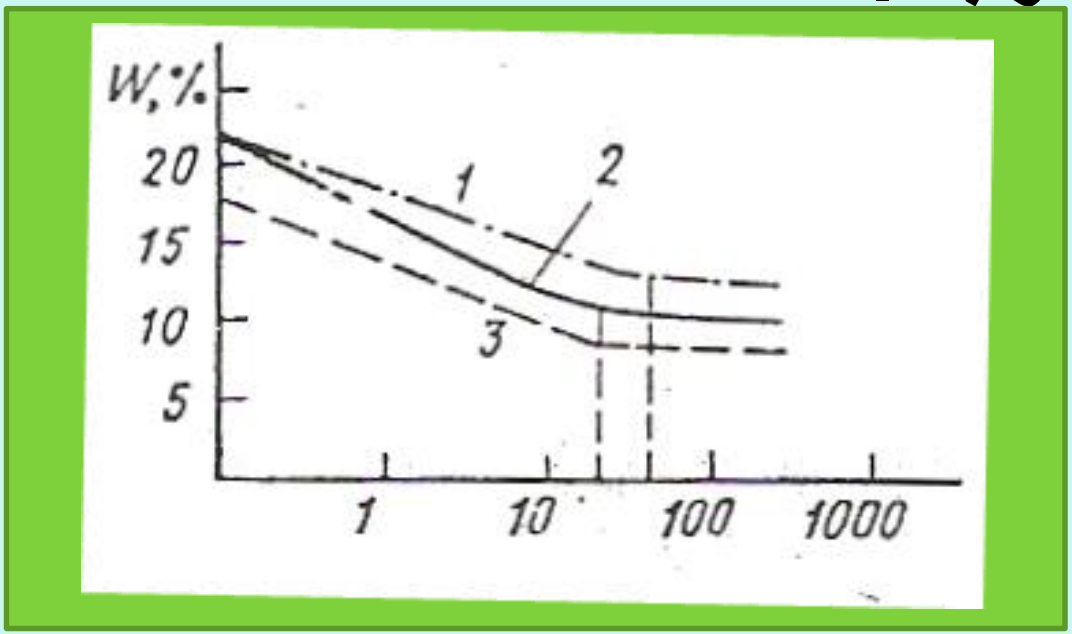
إن تكاثف بخار الماء يمكن أن يتم تحت تأثير انخفاض درجة الحرارة وزيادة تأثير العلاقة التبادلية بينه وبين الحبات الصخرية وفي هذه الحالة عندما تمتز جزيئات بخار الماء بقوة على سطح الحبات الصخرية تتشكل المياه المرتبطة وتتحدد شدة الامتزاز لبخار الماء من قبل الحبات الصخرية بمجموعة من أهمها المرونة النسبية لبخار الماء (فمع زيادة المرونة النسبية تزداد كمية المياه الممتزة) وأكثر ما يلاحظ تكاثف بخار الماء في الرمال وخصوصاً في ظروف المناخ القاري.

2-1 -2 – المياه المرتبطة:

تتواجد في الصخور الغضارية ، ويؤدي تواجد مختلف أنواع المياه المرتبطة في هذه الصخور وغيرها إلى تغير حالتها وخواصها بشكل حاد ولهذا فإن دراسة هذه المياه تملك أهمية تطبيقية كبيرة. وتختلف المياه المرتبطة بخواصها عن المياه لأخرى فمثلاً حركة جزيئات المياه المرتبطة تكون أقل من حركة جزئيات المياه الحرة ولكنها في الوقت ذاته تكون أكبر من حركة المياه المتجمدة أو المبلورة ومع انخفاض الرطوبة تقل هذه الحركة.

وتقسم المياه المرتبطة وفقاً لطبيعة ارتباطها مع الحبات الصخرية إلى نوعين أساسيين:

مياه وثيقة الارتباط ومياه ضعيفة الارتباط ـ (الشكل 3) ، حيث يبين هذا الشكل أنه مع زيادة الضغط حتى حد معين (20 - 50 ميغا باسكال) على الصخور المحتوية على مياه مرتبطة ، تنخفض رطوبة هذه الصخور ، إلا أنه مع زيادة الضغط عن هذا الحد ولو لبضعه آلاف ميغا باسكال فإن رطوبة الصخر لا تتأثر تقريباً وهذا يدل على أن هناك ضمن المياه المرتبطة توجد مياه أشد ارتباطاً بالحبات الصخرية وهي ما نسميها بالمياه قوية الارتباط.

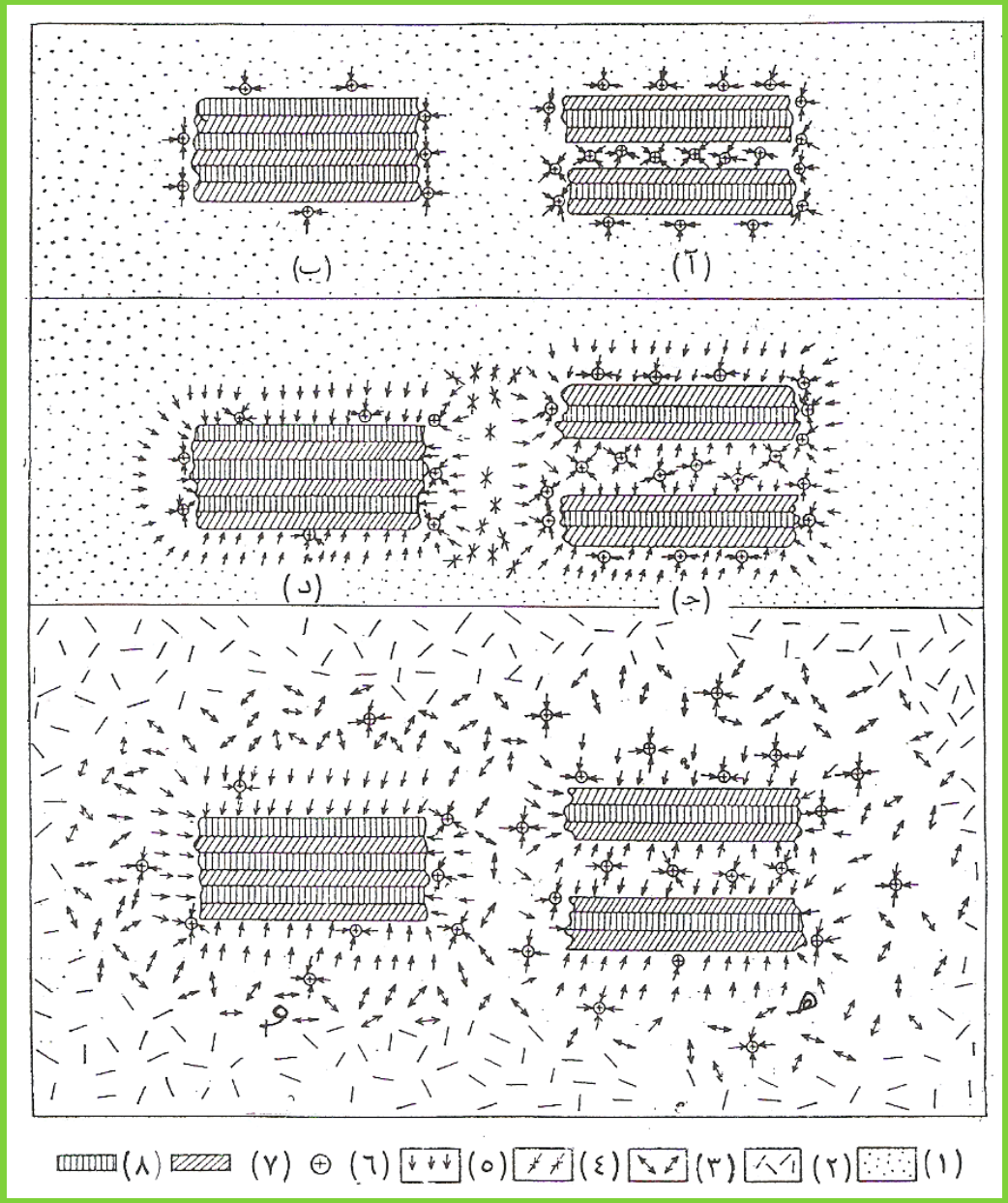


الشكل رقم 3 : مخطط يبين تغير رطوبة الصخور عند زيادة الضغط المؤثر عليها
1. غضار مونتموريلونيتي
2. غضار كاولينيتي
3. غضار رملي

1. المياه قوية الارتباط : تسمى طبقة المياه المتشكلة مباشرةً على سطح الحبات الصخرية نتيجة عمليات الامتصاص لجزئيات المياه من الأبخرة بالمياه قوية الارتباط أو المياه الهيغروسكوبية (wg) (الشكل 4) ، وتقسم هذه المياه إلى نوعين أساسين كحد أدنى مختلفين فيما بينهما بطاقة الارتباط مع سطح الفلزات هما المياه الجزرية والمياه متعددة الطبقات.

تتواجد المياه الجزرية على سطح الحبات الصخرية بشكل بقع صغيرة غير متصلة فيما بينها وتتألف كل واحدة منها من عدة جزيئات من الماء وهي تمتص بفعالية أكبر من قبل مراكز الامتصاص للسطح وتتميز هذه المياه بطاقة ارتباط عالية تبلغ (40 - 130 كيلو جول / جزئي).

ويتشكل هذا النوع من المياه عند رطوبة نسبية للهواء حتي 20 - 30% وتقدر كميتها بنحو 20 - 60% من الرطوبة الهيغروسكوبية العظمى تبعاً لنوع الشوارد التبادلية.



الشكل رقم 4 : الأشكال المختلفة للمياه في الضخور
(أ.جـ.هـ) غضار مونتموريلونيتي
(ب.د.و) غضار كاولينيتي
1.هواء ، 2. مياه حرة ، 3.مياه اسموزية ، 4.مياه شعرية ، 5.مياه قوية الارتباط 6.شوارد ممتزة ، 7.و8.الطبقات البنيوية لبلورات الفلزات الغضارية

إن تشكل غلاف متصل للمياه المرتبطة يبدأ مع ظهور النوع الثاني من المياه قوية الارتباط (المياه متعددة الطبقات) (الشكل 4). ويتم تشكل هذا النوع من المياه عند رطوبة نسبية للهواء في المجال 30 - 90% وترتبط المياه متعددة الطبقات بسطح الحبات الفلزية بواسطة الرابطة الجزيئية ذات الطاقة الضعيفة (0,4 - 40) كيلو جول /جزئي.

إن الكمية العامة للمياه قوية الارتباط المتشكلة في الصخر عند مرونة نسبية للبخار تساوي تقريبا 0,9 تسمى بالرطوبة الهيغروسكبية الأعظمية (W_{mg}) ويتحدد محتوى المياه وثيقة الارتباط في الصخور بواسطة التركيب الفلزي الكيميائي لهذه الصخور ومقدار تبعثرها. ويتأرجح محتوى المياه قوية الارتباط في الصخور الرسوبية المبعثرة في حدود كبيرة بين 0,2 و30% وأكثر.

وتختلف خواص المياه قوية الارتباط عن خواص المياه الحرة بكثافتها فهي تبلغ 1,84 غ /سم^3 وكذلك تتمتع بانخفاض قيمة الثابت الكهربائي ودرجة التجمد.

2. المياه ضعيفة الارتباط: وتشمل المياه الشعرية والمياه الأسموزية (الشكل 4).

وتقسم المياه الشعرية إلى ثلاثة أشكال: مياه زوايا المسامات , المياه المعلقة , والمياه الشعرية الحقيقية.

تتشكل مياه زوايا المسامات في أماكن تلامس الحبات الصخرية مع بعضها البعض بهيئة قطرات منفصلة تشغل أجزاء تضيق المسامات وتكون هذه الجزيئات في أقسام المسام معزولة عن بعضها البعض وغير متحركة وتشكل فيما بينها فراغات ليست كبيرة إذا ما قيست بحجم المسام الكلي ، أما كمية مياه زويا المسامات فتختلف حسب نوعية الصخور فهي تتراوح في الرمال بين 3 - 5% وفي الرمال الغضارية بين 4 - 7 % وعند زيادة رطوبة الصخور فإن المسامات تمتلئ كليا بالماء وفي هذه الحالة تظهر المياه الشعرية الحقيقية والمياه المعلقة.

تختلف المياه المعلقة عن المياه الشعرية الحقيقية بأنها لا تملك علاقة مباشرة مع مستوي المياه الجوفية , ومن جراء ذلك لا يمكن أن تتغذى بها عندما تتناقص كميتها وأكثر ما تصادف في الرمال. وهي تنشأ في التشكيلات المتجانسة وغير المتجانسة ففي التشكيلات المتجانسة يتعلق تشكل المياه المعلقة بالتركيب الحبي للرمال وبرطوبتها العالية , فهي لا تتشكل في الرمال الكبيرة الحبات ، وفي التشكيلات المتطبقة تتشكل المياه المعلقة على الحدود بين طبقتين مختلفتين بتركيبهما الحبي.

أما المياه الشعرية الحقيقية فتصعد نحو الأعلى اعتباراً من مستوى المياه الجوفية وتتغذى منه عندما تتناقص كميتها بفعل التبخر. هذا وتسمى رطوبة الصخر التي تكون عندها كل المسامات الشعرية ممتلئة بالماء بالسعة المائية الشعرية (WC).

وتشبه المياه الشعرية بشكل عام المياه الثقالية فهي تملك ضغطاً هيدروستاتيكياً ، ولكنها تختلف عنها ببعض الصفات. فالمياه الشعرية تتجمد عند درجة حرارة أقل من الصفر حيث تتعلق درجة تجمدها بقطر المسامات التي تتواجد فيها. وقد لوحظ حسب بعض التجارب أن المياه الشعرية الموجودة في الصخور الغضارية والغضارية الرملية عند درجة حرارة أعلى من (-12 درجة مئوية).

وتتشكل المياه الاسموزية نتيجة الاختلاف في تركيز الشوارد الموجودة في المياه المسامية وبالقرب من سطح الحبات الصخرية حيث تسبب الشوارد الممتزة انتقال جزئيات من المياه المسامية نحو سطح الحبات الصخرية وارتباطها مع الشوارد الممتزة. وهذه المياه ذات طاقة ارتباط ضعيفة لا تزيد عن 0,4 كيلو جول / جزيء ، وكثافتها قريبة من كثافة المياه الحرة ، وتبلغ درجة تجمدها -1,5 درجة مئوية وهي أعلى من درجة تجمد مختلف أشكال المياه الشعرية بكثير.

2-1-3- المياه الحرة:

وتسمى بالمياه الثقالية وهي تكون غير متحركة تحت تأثير قوى الثقالة عندما تملأ المسامات المغلقة في الصخر أو تكون متحركة بفعل قوى الثقالة الأرضية وتكون هذه الحركة عمودية تتجه من الأعلى نحو الأسفل (المياه الراشحة في نطاق التهوية) أو في الاتجاه الأفقي (المياه الجوفية). وتسمى الإمكانية العظمى لاحتواء الصخر على أشكال المياه المرتبطة والمياه الحرة عند امتلاء تام لكل المسامات الصخرية بالسعة المائية التامة للصخر (Wo) . وتقدر كمية المياه الثقالية في الصخر بالفرق بين قيمة السعة المائية العظمى (التامة) والسعة المائية الشعرية. وعند إشباع كامل للصخر بالماء وغياب الغازات فيه يكون حجم المسامات مساوياً لحجم الماء في الصخر. فإذا أخذنا كثافة الماء واحد ، فإن كتلة وجودها عند سعة مائية تامة للصخر سوف تساوي حسابياً حجم المسامات ، وانطلاقاً من هذا يمكن حساب السعة المائية التامة كنسبة بين كتلة الماء إلى كثافة الهيكل الصخري.

أي:

$$Wo = n \frac{\rho_w}{\rho_d}$$

حيث أن :

Wo السعة المائية التامة

n المسامية ، ρ_w كثافة الماء

ρ_d كثافة الهيكل الصخري .

وإن المياه الثقالية تتمتع بكافة خواص المياه العادية.

2-1-4- المياه بالحالة الصلبة (المياه المتجمدة):

عند انخفاض درجة الحرارة تحت الصفر تتجمد الثقالية وتتحول إلى حالة المياه المتجمدة (جليد). ويمكن أن يتواجد الجليد في الصخر على شكل بلورات منفصلة أو طبقات مستمرة تبلغ في بعض المناطق سماكات لا بأس بها. وتلعب بلورات الجليد في أغلب الحالات دور المادة اللاحمة التي تلصق الحبات الفلزية مع بعضها البعض.

لهذا تتغيير خواص الصخور بشكل حاد عند تغير حالة المياه. فوجود المياه المتجمدة في الصخور الغضارية يؤثر على صفاتها الميكانيكية ــ الفيزيائية وخصوصاً عند زوال التجمد، إذ تزداد عندها كمية المياه الحرة كما تزداد خاصة الرشح وتتغير متانة الصخور وخواصها الكهربائية.

2-1-5- المياه المتبلورة والمرتبطة كيميائيا:

تتواجد هذه المياه في الشبكة البلورية للفلزات حيث تدخل في تكوين الفلز بشكل أيونات أو جزئيات ماء (H_2o, OH^-, H^+) مشاركةً بذلك في تركيبة مثل المسكوفيت $KAL_2ALSi_3O_{10}(OH_2)$ ، الجص $CaSo_4$ ، وغير ذلك من الفلزات. ويمكن نزع هذا النوع من المياه من الشبكة البلورية للفلزات بتسخينها إلى درجة حرارة 300- 1500 درجة مئوية حيث يؤدي خروجها من الفلزات إلى تفكك هذه الفلزات وتغيير تركيبها الكيميائي.

2-2- الرطوبة الطبيعية للصخور:

وهي كمية المياه الموجودة في الصخر بالحالة الطبيعية. وتتحدد قيمة الرطوبة عن طريق وزن الصخر المطلوب بتعيين رطوبته مرتين الأولى مع رطوبته والثانية بعد طرد المياه منه بالتسخين إلى درجة حرارة تقارب 105 – 107 درجة مئوية مدة من الزمن حتى ثبات وزنه ، وتكون نسبة المياه المزاحة إلى وزن الصخر المطلق الجاف هي الرطوبة التي نسميها الرطوبة الوزنية (المطلقة) وتقدر كجزء من الواحد أو كنسبة مئوية (بضربها بـ 100) ، وعندما يعبر عن هذه الرطوبة بنسبة حجم الماء إلى حجم الصخر المطلق الجاف تسمى بالرطوبة الحجمية ، وتعتبر الرطوبة الطبيعية من أهم الصفات الفيزيائية للصخور فهي تحدد المتانة وغيرها من الخواص عند التطبيقات الجيوهندسية.

ولوصف الحالة الفيزيائية للصخور ينبغي أيضاً تحديد درجة إملاء المسامات بالماء.

لهذا يتم إيجاد ما يسمى بالرطوبة النسبية (عامل الرطوبة) بالعلاقة التالية :

$$G = \frac{Wn}{n} = \frac{W\rho_s}{e}$$

Wn: الرطوبة الحجمية

n : المسامية

W: الرطوبة المطلقة كجزء من الواحد

ρ_s: كثافة الجزء الصلب من الصخر

e: عامل المسامية

ويمكن أن تتغير قيمة G من (0) وحتى (1) عندما تكون Wn = n وعلى أساس قيمة الرطوبة النسبية تنقسم الصخور الرملية إلى الفئات التالية :

- قليلة الرطوبة (0 < G ≤0.5)
- رطبة جداً (0.5 < G ≤0.8)
- مشبعة (0.8 < G ≤ 1)

هذا وإن وجود الماء في أي صخر يؤثر على خواصه وهذا ما سنراه لاحقاً عند دراسة مختلف خواص الصخور وخاصةً الصخور شديدة التبعثر كالصخور الغضارية.

3. المكونات الغازية:

تحدد المكونات الغازية الموجودة في مسامات وشقوق الصخور خواص هذه الصخور بشكل كبير. وتسمى كمية الغازات الحرة أو الممتزة الموجودة في واحدة الكتلة أو (الحجم) للصخور في الظروف الطبيعية بالسعة الهوائية. تتعلق السعة الهوائية للصخور بدرجة كبيرة بحجم مسامات هذه الصخور وغيرها من الفجوات وبدرجة إملائها بالماء. فكلما كانت المسامات أكثر امتلاءً بالماء كلما كان المحتوى الغازي فيها أقل والعكس صحيح.

إن الاختلاف بين تركيب الهواء الجوي والغازات في الصخور (الهواء المسامي) يتلخص قبل كل شيء بمحتوى (N_2, CO_2, O_2) ، فإذا كان غاز الفحم في الهواء الجوي يمثل فقط أجزاء من المئة (تقريباً بحدود 0,03%) فإن محتواه في الصخور يبلغ عشرات وحتى كامل النسبة المئوية. ويتواجد الأوكسجين والآزوت في التشكيلات الصخرية بكميات مختلفة , وفي ترب هذه التشكيلات الصخرية تكون كمية هذه الغازات أقل منها في الغلاف الجوي وهذا يمكن تفسيره بحدوث عمليات امتصاص الأوكسجين والآزوت وإطلاق ثاني أوكسيد الكربون في هذه الترب.

ويملك وجود غاز الهليوم ضمن المكونات الغازية للصخور أهمية كبيرة فهو يصعد باتجاه الأعلى نحو سطح الأرض من الأعماق الكبيرة ويزداد تركيزه بدرجة كبيرة أثناء وجود الفوالق التكتونية وهذه الخاصية يمكن استخدامها للكشف عن الفوالق غير الظاهرة على سطح الأرض كذلك تحتوي الصخور أيضاً على غاز الميتان (CH_4) وغيره من الفحوم الهيدروجينية التي يمكن أن تكون ذات قيمة اقتصادية في الطبقات العميقة.

وتتواجد الغازات في الفراغات المسامية بالحالة الحرة أو ممتزة أو محصورة أو بشكل فقاقيع صغيرة في المياه المسامية أو منحلة فيها.

ترتبط الغازات الممتزة على سطح الحبات الصخرية بواسطة القوى الجزيئية وتتعلق كمية الغازات الممتزة في الصخور بتركيبها الفلزي وبوجود الدبال وغيره من المواد العضوية وبتبعثر الصخور وقيمة مساميتها. وتتمتع أكاسيد الحديد والمواد العضوية بمقدرة امتزازية كبيرة ومع زيادة تبعثر الصخور تزداد كمية الغازات الممتزة فيه. وتتغير كمية الغازات الممتزة عموماً في الصخور من أقل من 1 سم^3 إلى 15 سم^3 لكل 100 غ من الصخر الجاف.

وتتناقص كمية الغازات الممتزة في الصخور الغضارية مع زيادة الرطوبة وتوجد أكبر كمية من الغازات الممتزة في الصخور المطلقة الجفاف , إن الغازات الممتزة تغيب في الصخور عند وجود أعظمي للمياه قوية الارتباط فيها.

وعندما يكون الترطيب متعلقاً بالارتفاع الشعري للمياه فإن الغازات المطرودة من المسامات تخرج بحرية إلى الغلاف الجوي. ولكن في بعض الأحيان يترافق صعود المياه الشعرية مع رشح المياه السطحية فينشأ نوع آخر من المكونات الغازية يسمى بالغازات المحصورة. وتختلف هذه الغازات عن الغازات الممتزة بأن قيمتها العظمى تتشكل عند قيمة معينة الرطوبة تسمى (الرطوبة المثالية).

ومع استمرار زيادة الرطوبة تتناقص هذه الغازات وعند إملاء كامل لكل المسامات بالماء وكذلك عند رطوبة تساوي الصفر فإن الصخور لا تحوي على غازات محصورة. ويمكن أن تشغل هذه الغازات في الصخور الغضارية 20 - 25% من حجم المسامات.

هذا ويسبب وجود الغازات الممتزة والمحصورة في الصخور الكثير من الظواهر مثل هبوط الطبقات وتشوهها وانهيارها وإنقاص نفاذيه هذه الصخور.

انتهت المحاضرة