Manara university
Faculty of engineering
Department of civil engineering

جامعة المنارة
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

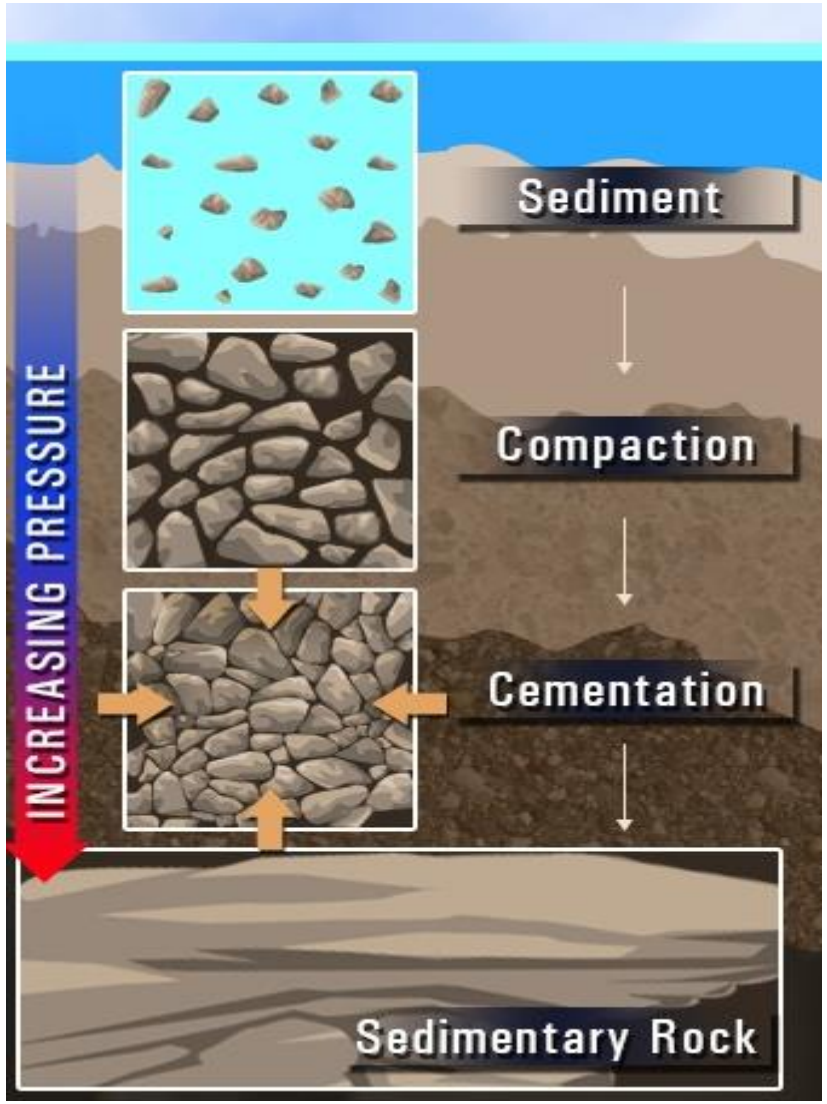
مقرر جيولوجيا هندسية

لطلاب الهندسة المدنية

مدرس المقرر

د.م. مهند سليم مهنا

الصخور الرسوبية



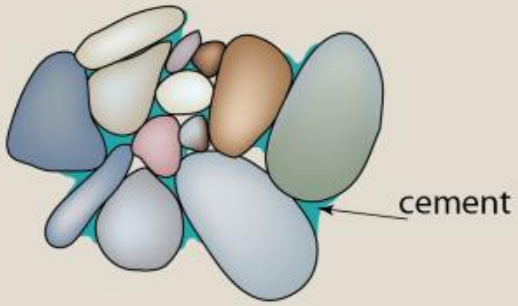
- ما مراحل تشكل الصخور الرسوبية؟
- ما أهم المواصفات العامة للصخور الرسوبية ؟
- كيف نصنف الصخور الرسوبية؟
- ما أهم أنواع الصخور الرسوبية؟
  - الصخور الرسوبية الحطامية.
  - الصخور الرسوبية الكيميائية.
  - الصخور الرسوبية العضوية.
- ما أهم الخواص الهندسية و الاستخدام الهندسي للصخور الرسوبية ؟

تتشكل الصخور الرسوبية وفق المراحل التالية:

- مرحلة تشكل الرسوبيات: من خلال عمليات التجوية (ميكانيكية، كيميائية، عضوية) للصخور الموجودة (نارية، استحالية، رسوبية)
- مرحلة نقل الرسوبيات: تنتقل الرسوبيات المتشكلة من خلال وسائط وعوامل نقل متعددة (المياه الجارية، الأنهار، الرياح، الجاذبية، الجليديات)
- مرحلة الترسيب: عندما تصل الرسوبيات إلى أحواض الترسيب (مناطق منخفضة مثل البحيرات، البحار والمحيطات، الوديان) تتوضع الرسوبيات بشكل طبقات فوق بعضها البعض.
- مرحلة التصخر أو التصلب (الدياجنيز): و هي مرحلة تشكل الصخور الرسوبية و تشمل (مرحلة الارتصاص، الترابط بواسطة ملاط)

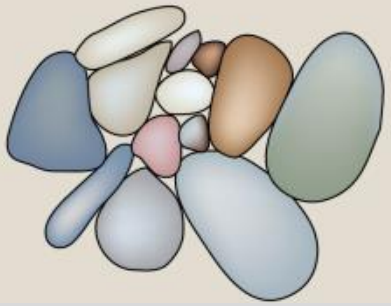
صخر البريش الرسوبي

الترابط بملاط/السمنتة



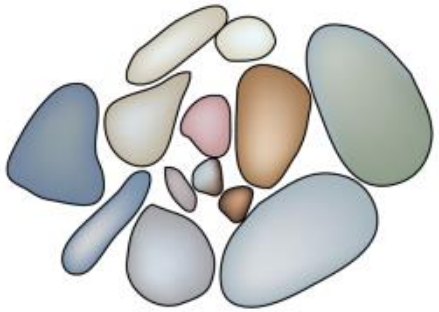
تتحرك المياه الجوفية بين الحبيبات مخلفة وراءها رسوبيات معدنية، تربط الحبيبات مع بعضها البعض

ارتصاص



مع تراكم الرسوبيات فوق بعضها، تتقارب الحبيبات من بعضها وتتراص وتتضغط.

ترسيب



ترسب الحبيبات والأجزاء وسقوطها

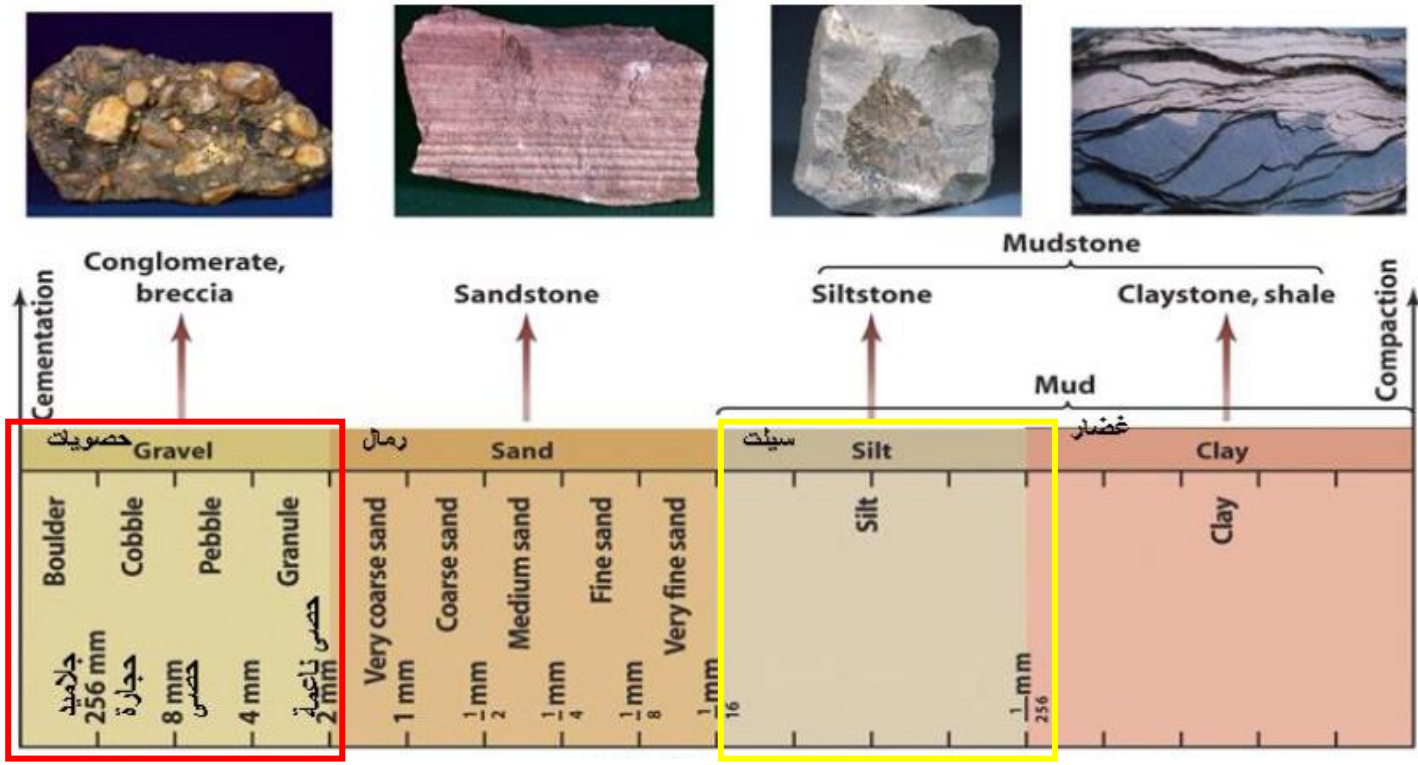
أهم المواصفات العامة للصخور الرسوبية:

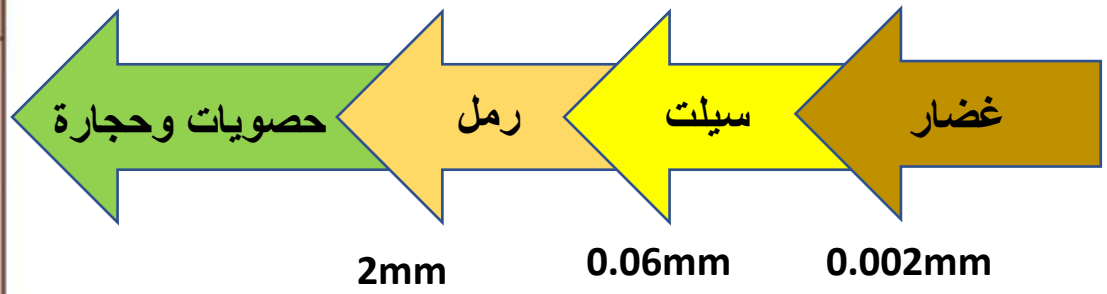
صخر رملي رسوبي

- هي صخور ذات منشأ **ثانوي**، أي تشكلت من صخور سابقة التكوين (مغماتية، استحالية، أو حتى رسوبية).
- تتشكل هذه الصخور في ظروف ذات حرارة عادية منخفضة مقارنة بالصخور الأخرى و بضغط منخفض.
- تتضمن أغلب الصخور الرسوبية على مستحاثات.
- تعتبر من الصخور التي تشكلت على سطح الأرض أو بالقرب منه ولذلك تعتبر ذات أهمية بالنسبة للدراسات الهندسية أكثر من بقية أنواع الصخور (توفرها كمواد بناء، كطبقات تأسيس للمنشآت، ..)
- تشكل الصخور الرسوبية ما نسبته 8% وسطياً من حجم القشرة الأرضية، بينما تشكل نسبة 75 - 95 % من الجزء السطحي الصلب للقشرة الأرضية (أكثر أنواع الصخور انتشاراً على سطح الأرض).
- تخضع طبقات الصخور الرسوبية لقانون تعاقب الطبقات (الطبقات الأقدم عمراً تتوضع في الأسفل).
- تخضع الصخور الرسوبية لمبدأ أصل أفقية الطبقات، حيث تتوضع غالباً على شكل طبقات أفقية (توضع أولي) و في حال تعرضها لحركات تكتونية يمكن أن تصبح مائلة (توضع ثانوي).

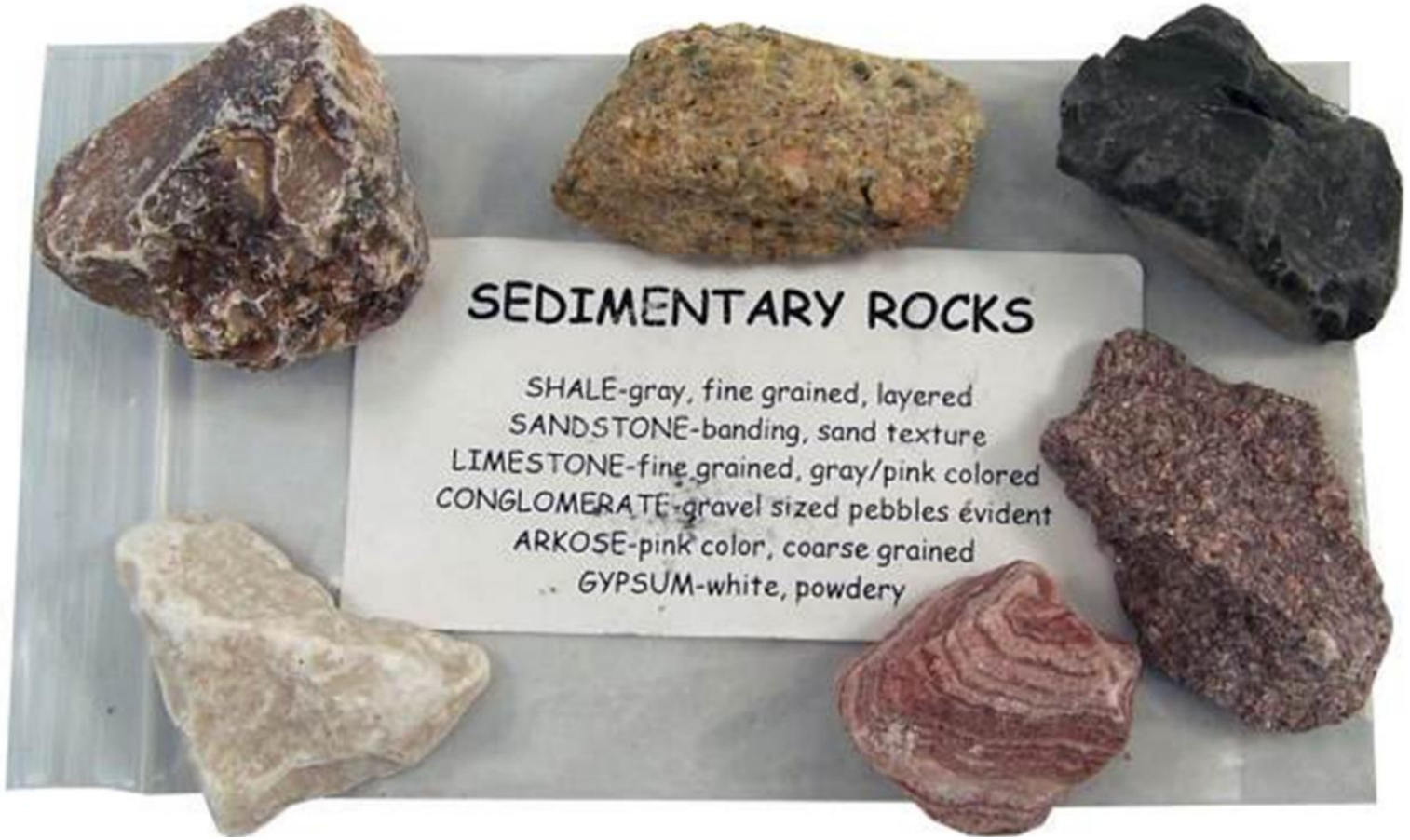
يمكن تقسيم الرسوبيات حسب أبعاد حبيباتها إلى :

- **حصويات و حجارة (أكبر من 2 مم) وتقسم بدروها إلى مجموعات فرعية : جلاميد ، حجارة ، حصى ، حصى ناعمة**
- **رمال (من 0.06 – 2 مم) وتقسم بدروها إلى مجموعات فرعية: رمل خشن ، رمل متوسط ، رمل ناعم**
- **سيلت (طمي) (من 0.002 – 0.06 مم)**
- **غضار (أصغر من 0.002 مم)**





تصنيف الصخور الرسوبية



تصنف الصخور الرسوبية إما حسب:

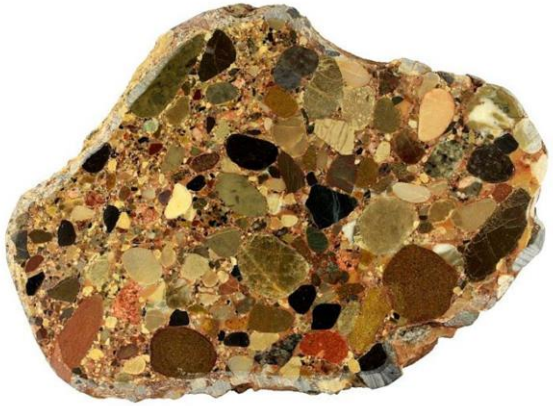
- ❖ تركيبها الكيميائي المنيرالي
- ❖ حسب نسيجها الصخري
- ❖ حسب منشأها أو طريقة تشكلها

تصنف الصخور الرسوبية حسب نسيجها الصخري إلى:

a) صخور رسوبية ذات نسيج حطامي (حُبَيبي)

مثل: الكونغلوميرا، الصخر الرملي، والصخر الطيني.

الصخر الرملي



الكونغلوميرا

b) صخور رسوبية ذات نسيج غير حطامي

مثل: الصخر الكلسي، الصخر الحواري، والجبس.

الصخر الحواري

الصخر الكلسي

تصنف الصخور الرسوبية حسب منشأها أو طريقة تشكلها إلى :

- **الصخور الرسوبية الحطامية المنشأ (Clastic/Detrital sedimentary rocks):**

وتشمل جميع الصخور التي تتكون من حطام أو فتات الصخور سابقة التكوين والتي يتم نقلها بواسطة الرياح أو المياه الجارية أو الجليديات أو غيرها إلى أماكن ترسيبها ثم تتماسك وتتصلب و تتصخر. (كونغلوميرا، بريش، صخر رملي، صخر طيني)

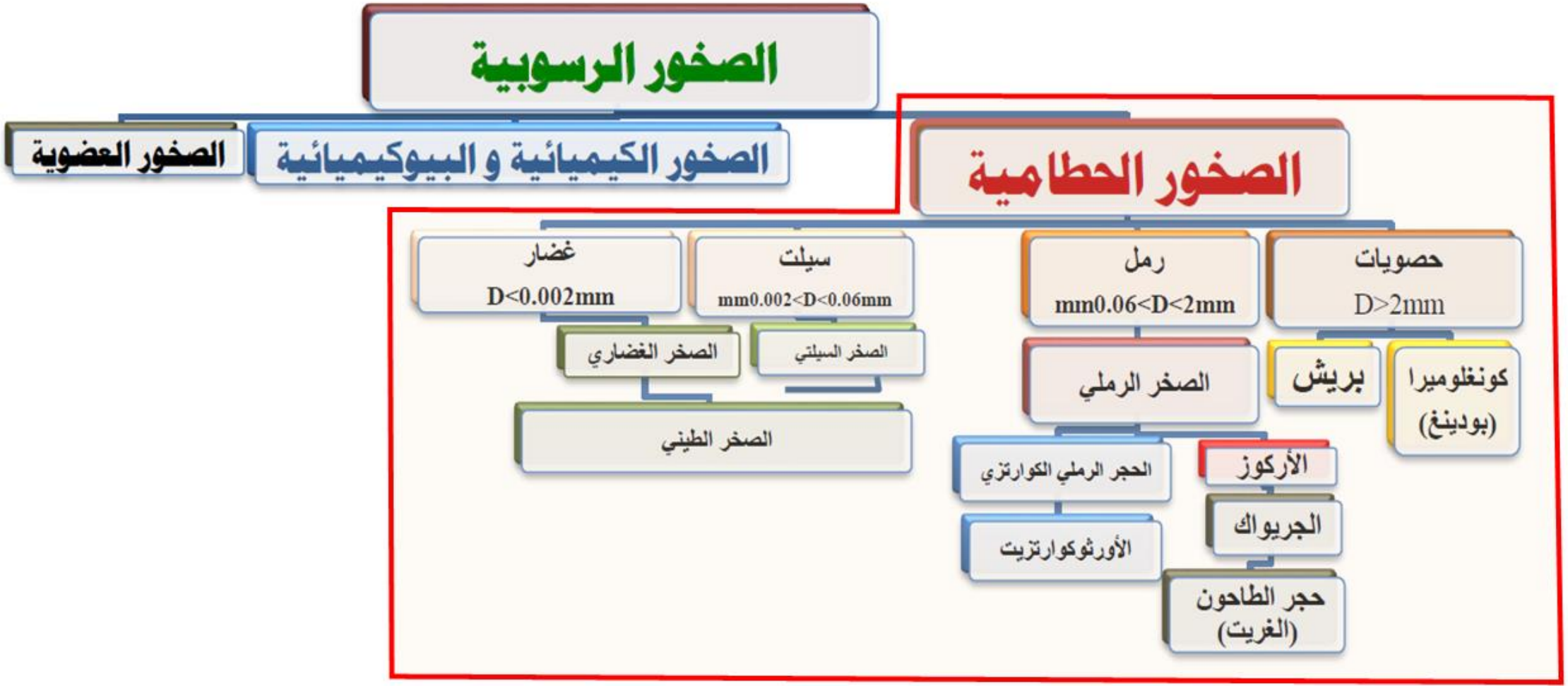
- **صخور رسوبية كيميائية المنشأ (Chemical sedimentary rocks):**

تتكون هذه الصخور نتيجة ترسيبها من محاليل تحتوي على مواد مذابة وعندما ترتفع درجة تركيزها نتيجة تبخر هذه المحاليل. قد تتكون الرواسب نتيجة لتفاعل كيميائي بين مكونات هذه التحاليل. عندما تنشأ الصخور كيميائياً فقط ندعو الصخر بالصخر ذو منشأ كيميائي (صخر كلسي، دولوميتي، جبس، ملح صخري، ..) و لكن عندما تساهم الكائنات الحية في تشكل الصخر ندعوه ذو منشأ بيوكيميائي (الحوار، الصخر الكلسي القوقعي، الردايولاريت و الدياتوميت)

- **صخور رسوبية عضوية المنشأ (Organic sedimentary rocks):**

تتكون هذه الصخور نتيجة لتكدس البقايا الأصلية الحيوانية والنباتية المختلفة من الكائنات الحية بعد موتها مثل الهيكل العظمى والمحارات والأصداف، كذلك أوراق الأشجار وجذوعها وغصونها التي قد تترسب بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى ثم تتحلل وتتصلب وتتصخر (فحم حجري، صخور بترولية).

تصنف الصخور الرسوبية حسب منشأها أو طريقة تشكلها إلى :



صخور رسوبية حطامية

1. صخور حطامية تجميعية

تنتج هذه الصخور عن تجمع وتماسك الحصويات

ذات الأبعاد (الأكبر من 2mm من حصويات وحجارة) وتقسم إلى:

الكونغلوميرا (البودينغ)(Pudding): عبارة عن صخر رسوبي حطامي بأبعاد حبيبات كبيرة نسبية أكبر من 2 مم (2 mm <) مستديرة الأطراف محاطة بملاط يتضمن حبيبات أصغر حجماً. أكثر انتشاراً من البريش، يتواجد في مواقع بعيدة عن الصخور التي نشأ منها، و تعرض لعمليات نقل كبيرة نسبية و غالباً عامل النقل أنهار بطاقة كبيرة (رسوبيات نهرية).

البريش (Breccia): عبارة عن صخر رسوبي حطامي بأبعاد حبيبات كبيرة نسبية (2 < mm) و ذات زوايا حادة الأطراف محاطة بملاط يتضمن حبيبات أصغر حجماً و هو أقل انتشاراً من البودينغ و يتشكل في موقع قريب من الصخور التي نشأ منها

صخور رسوبية حطامية

2- الصخور الرملية (Sandstone):

تشكل الصخور الرملية حوالي 15-20% من الصخور الرسوبية، و يتكون الحجر الرملي من حبيبات بأبعاد (من 0.06 – 2 مم) و غالباً يتضمن منيرالات محددة أهمها الكوارتز و الفلدسبار و الميكا و قليل من الطين (سيلت + غضار) ، أما ملاط هذه الصخور فمتنوع جداً, فقد يكون سيليسياً, أو غضارياً, أو كلسياً, أو كلسياً – غضارياً, أو حديدياً، و هذه الروابط تعطي للصخر ألوانه المختلفة و تسمياته الفرعية. يتكون الحجر الرملي في الأنهار و الصحاري و البحار و البحيرات و أهم أنواعه:

1.2. الصخر الرملي الكوارتزي

صخر رملي رسوبي نسبة الكوارتز فيه أكبر من 90%

sandstone

Quartz sandstone

2.2. الأركوز (Arkose):

حجر رملي تسود فيه المعادن فاتحة اللون يحتوي على نسبة مهمة من الفلدسبار (25-60%) ونسبة قليلة من الطين (أقل من 15%).
ذو لون زهري أو أحمر وقد يصبح رمادي أحياناً.

3.2. حجر الطاحون (Grit):

يشبه الحجر الرملي لكنه يتكون من حبيبات رملية خشنة تتراوح أقطارها بين (1-2mm) ولها حواف حادة الزوايا وتلتحم مع بعضها بمادة كلسية أو سيليسية أو حديدية.
يستخدم في الطواحين بسبب قساوته العالية

حجر الطاحون

الخواص الهندسية للصخور الرملية :

- الصخر الرملي و الرمال : تعتبر صالحة للتأسيس بالنسبة لجميع المنشآت الهندسية. (هبوطه آني لا يستغرق وقتاً طويلاً)
- يستخدم الحجر الرملي القاسي كأحجار للبناء و ردميات صخرية ، أما الرمال فتستخدم في أعمال البيتون و كردميات محسنة و كذلك لصناعة الزجاج و لصناعة السيليكون و الدهانات .
- الحجر الرملي والرمال: ذو نفاذية عالية ويعتبر صخر نفوذ يختزن المياه(طبقات خازنة للمياه)

حجر رملي/ اكساء خارجي

حجر رملي/ اكساء داخلي

حجر رملي مستخدم في البناء

3- الصخور السيلتية و الغضارية (الصخور الطينية):

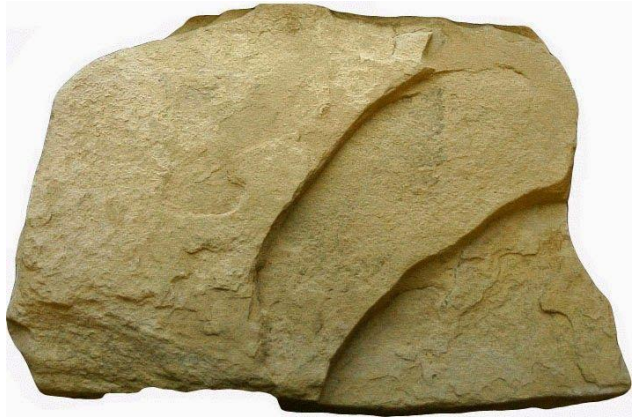
أ) الصخر السيلتي (siltstone): يتكون الصخر السيلتي من حبيبات سيلتية (0.06-0.002mm) ترابطت فيما بينها بواسطة مادة رابطة اسمنتية.

ب) الصخر الغضاري (Calystone) أو الشيل (Shale): يتكون الصخر الغضاري من حبيبات غضارية ذات أقطار أنعم من السيلت (أقل من 0.002mm) و يتحول إلى صخر من خلال الضغط. و الشيل (Shale) هو عبارة عن صخر غضاري يكون عادة بشكل طبقات رقيقة متوازية فيما بينها و يمكن أن تفصم باتجاه هذه السطوح.

الصخور الغضارية أكثر أنواع الصخور الرسوبية تواجداً في الطبيعة و تشكل حوالي 70% منها.

و تتكون غالباً من سليكات الألمنيوم المائية التي تتكون من تحلل (تجوية) الفلدسبار كيميائياً.

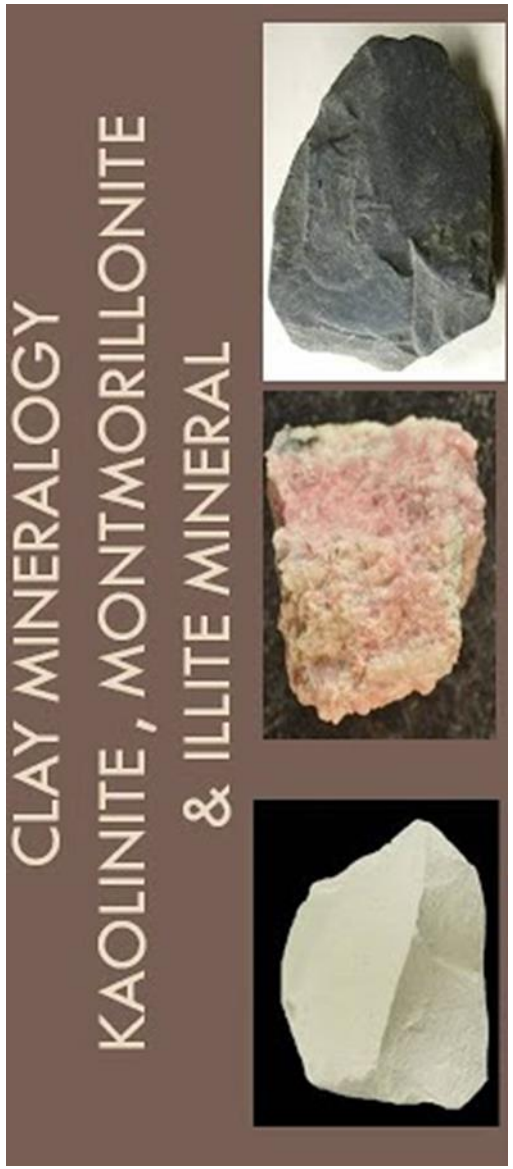
جـ) الصخر الطيني (Mudstone): هو صخر يتكون من حبيبات مزيج من السيلت و الغضار بأي نسب بينهما و يتكون في بيئة ترسيب مائية هادئة.



صخر سيلتي

Shale الشيل

صخر طيني



الخواص الهندسية للصخور الغضارية:

- الغضار و الصخور الغضارية هي عبارة عن سيليكات الألومنيوم المائية و تتكون بشكل أساسي من ثلاث منيرالات هي الكاولينيت و الأيليت و المونتموريلونيت .
- عندما يتشبع الصخر الغضاري أو الغضار بالماء يمكن أن يؤدي إلى تشكل تربة تأسيس منزلقة و بالتالي و إضافة لقابليتها الكبيرة للانضغاط تعتبر غير مناسبة للتأسيس للعديد من المنشآت الهندسية لأنها قد تسبب أضراراً لها.
- تعتبر الصخور الغضارية و الغضار قابلة للانتفاخ بالماء و حسب المنيرالات المشكلة له يزداد حجمه من 3 مرات في حال غضار الكاولينيت و حتى 40 مرة في غضار المونتموريلونيت. و خاصة الانتفاخ هذه يمكن أن تسبب أضراراً كبيرة في المنشآت الهندسية (تشققات و تصدعات).
- غضار المونتموريلونيت: يستخدم نوع خاص منه يسمى (البنتونيت) في أعمال الحفر حيث يحضر منه سائل الحفر(الطفلة) الذي يتمتع بالخاصة التكسوتروبية (يتحول المزيج في حالة السكون (عدم الحركة) إلى مادة هلامية مثل الجل ذات تماسك مؤقت، و يتحول عن وجود اهتزاز ديناميكي أو ميكانيكي إلى سائل كالماء بدون مقاومة على القص) .

- يعتبر الصخر الغضاري كتيم أي أنه لا يسمح للماء بالعبور من خلاله بسهولة وبالتالي تعتبر الصخور الغضارية والغضار طبقات حاملة للمياه (تحجز المياه فوقها)

الصخور الرسوبية

- الصخور الحطامية
- الصخور الكيميائية و البيوكيميائية
  - الصخور الكربوناتية
    - منشأ كيميائي
      - الصخر الكلسي
      - الصخر الدولوميتي
      - الترافرتين
    - منشأ بيوكيميائي
      - الحوار
      - الصخر الكلسي القوقعي
      - الصخر الكلسي الحاوي مستحاثات
      - الصخور المرجانية
  - الصخور السيليسية
    - منشأ كيميائي
      - الصوان (حجر القدح)
    - منشأ بيوكيميائي
      - الراديولاريت
      - دياتوميت
  - الصخور التبخرية
    - الملح الصخري
      - الجبس
      - الانهدريت
  - الصخور الفوسفاتية
- الصخور العضوية

صخور رسوبية ذات منشأ كيميائي-بيوكيميائي

الصخور ذات المنشأ الكيميائي تتشكل نتيجة لترسب العناصر الكيميائية الموجودة في المحاليل المائية والغروية بشكل عناصر منحلة والتي نتجت عن التجوية الكيميائية للصخور الأم، و أهم أمثلتها الصخور الكربوناتية و التبخرية، ....

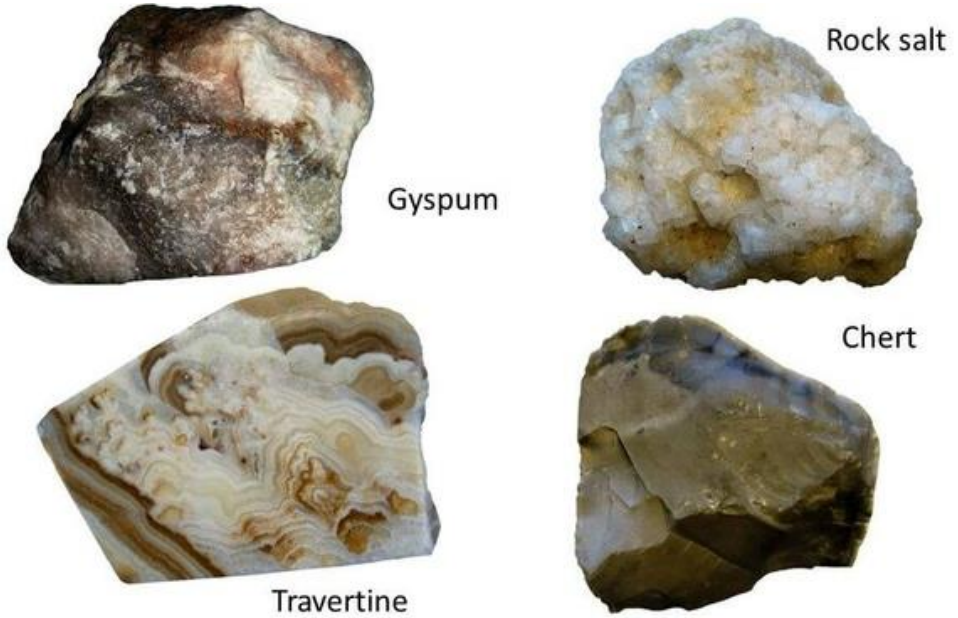
إذا كانت عمليات الترسيب كيميائية فقط تدعى الصخور بالصخور الكيميائية المنشأ، أما إذا شاركت كائنا حية عضوية في عملية الترسيب للعناصر الكيميائية المنحلة فإن الصخور الناتجة تدعى صخور رسوبية ذات منشأ بيوكيميائي (عضوي-كيميائي) و من أمثلتها الصخر الطباشيري (الحوار) و صخر الراديولاريت و الدياتوميت .

تقسم الصخور الكيميائية المنشأ حسب تركيبها الكيميائي أو المنيرالي إلى:

صخور كربوناتية

صخور تبخرية

صخور سيليسية



1.5. الصخور الكربوناتية

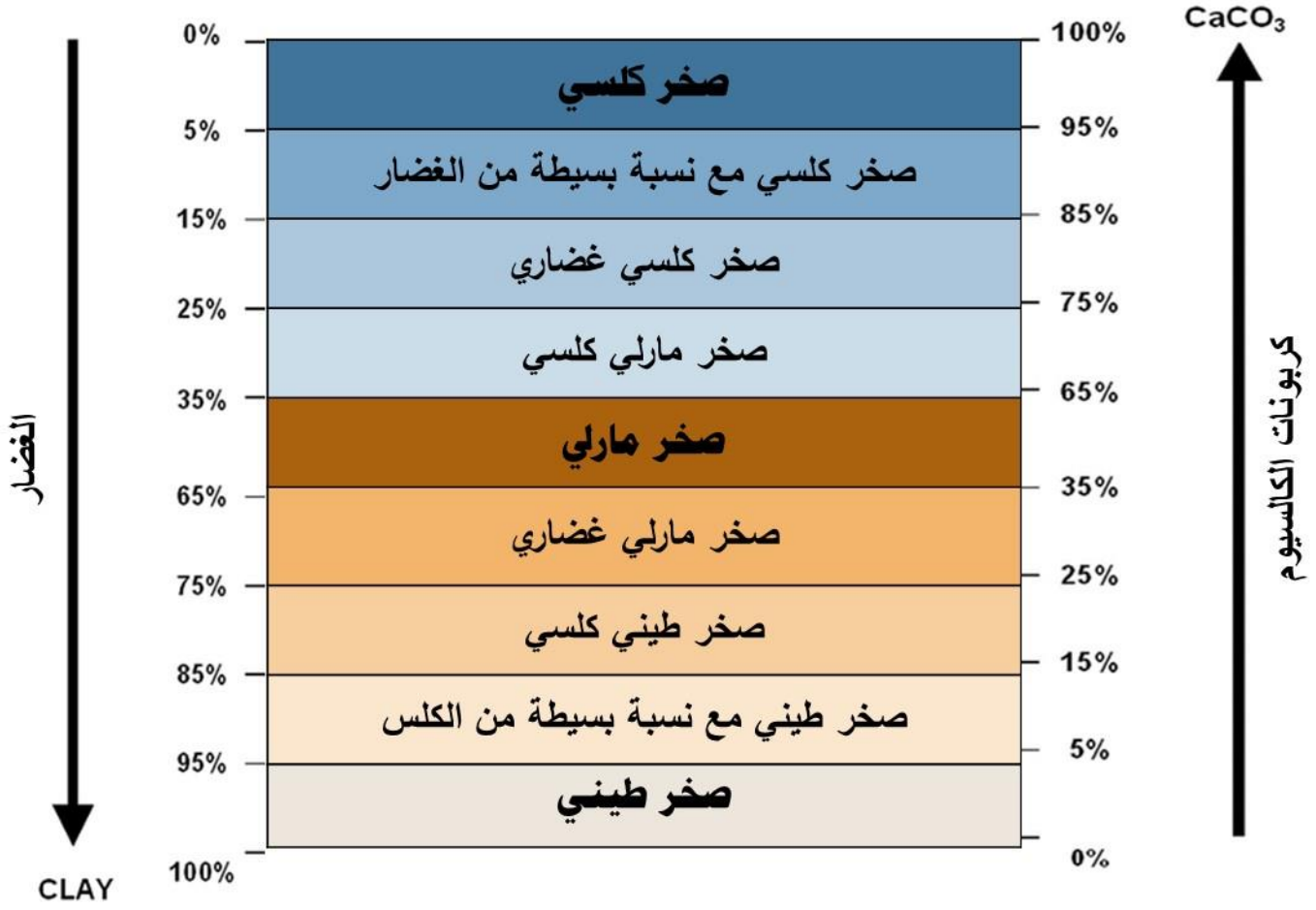
تتكون بشكل أساسي من المنيرالات الكربوناتية (الكالسيت والدولوميت)

ويمكن أن تكون ذات منشأ كيميائي أو بيوكيميائي

صخور كربوناتية ذات منشأ كيميائي: تتكون من ترسب الكالسيت المنحل في الماء في قاع البحيرات المالحة والبحار وبدون مشاركة الكائنات الحية العضوية. أهم أنواع الصخور الكربوناتية الكيميائية المنشأ:

الصخر الكلسي - المارل - الترافيرتين - الدولوميت.

صخر مارلي



تتضمن الصخور الكربوناتية أحياناً شوائب غضارية ورملية، فعند ازدياد نسبة الشوائب الغضارية يسمى الصخر عندئذ بالمارل وحسب نسبة الكلس في الصخر تتنوع تسمية الصخر كما في الجدول التالي:

مقلع حجارة تر افيرتين

عند زيادة كمية الشوائب الرملية فيسمى الصخر صخراً كلسياً رملياً أو رملياً كلسياً وذلك تبعاً للنسب الداخلة في تركيبه حيث يعطى الاسم الأول للنسبة الأعلى.

وللتأكد من وجود الكلس نستخدم حمض كلور الماء الممدد (10%)

الصخر الدولوميتي (Dolostone):

يتكون بشكل أساسي من مينرال الدولوميت (كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم: $(CaMg(CO_3)_2$ بالإضافة إلى شوائب من الكالسيت والجبس والكوارتز. يصعب تمييزه ماكروسكوبياً عن الصخر الكلسي. ويميز عنه بحمض كلور الماء الممدد (10%) الذي لا يتفاعل مع الصخر الدولوميتي إلا إذا سخن أو طحن. ألوانه أبيض، رمادي، أحمر. يوجد صخور انتقالية بين الصخور الكلسية والصخور الدولوميتية فحسب غلبة مينرال الكالسيت أو الدولوميت يسمى الصخر (صخر كلسي - صخر كلسي دولوميتي - صخر دولوميتي كلسي -صخر دولوميتي).

الصخر الطباشيري أو الحوار Chalk

صخور كلسية ذات منشأ بيوكيميائي (عضوي-كيميائي): و يمكن أن تكون الصخور ذات منشأ كيميائي و عضوي حين تساعد الكائنات العضوية في عمليات الترسيب، حيث تقوم هذه الكائنات بأخذ أيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) و ($CO3^{2-}$)المنحلة بالماء لتكوين قواقع خاصة بها، و بعد موت هذه الكائنات تترسب القواقع الكلسية و تنضغط لتشكل لاحقاً الصخور الكلسية القوقعية. تتكون الصخور الكلسية عضوية المنشأ بشكل أساسي من القواقع والهياكل الصلبة للأحياء

أهم أنواع الصخور الكلسية البيوكيميائية المنشأ: الصخر الطباشيري (الحوار Chalk) الذي يتكون بشكل أساسي من ترسب قواقع الفورامينيفيرا – الصخر الكلسي الحاوي على مستحاثات – الصخر الكلسي القوقعي – الصخر المرجاني (الشعب المرجانية) .

الخواص الهندسية للصخور الكلسية والدولوميتية:

- الصخر الكلسي: كثافته ($1.8\text{-}2.8\ g/cm^3$)، مقاومته للضغط (80-180 Mpa)
- الصخر الدولوميتي و الكلسي الدولوميتي: أكثر قساوة و أكثر كثافة من الحجر الكلسي

يستخدم الحجر الكلسي و الدولوميتي و الكلسي الدولوميتي: كأحجار للبناء وردميات صخرية وردميات محسنة و كذلك لتحضير الكلس الحي و لصناعة الاسمنت.

- المارل (Marlstone): يستعمل في صناعة الاسمنت الطبيعي (عندما تكون نسبة الغضار بين 23-28%)،

2.5. الصخور التبخرية:

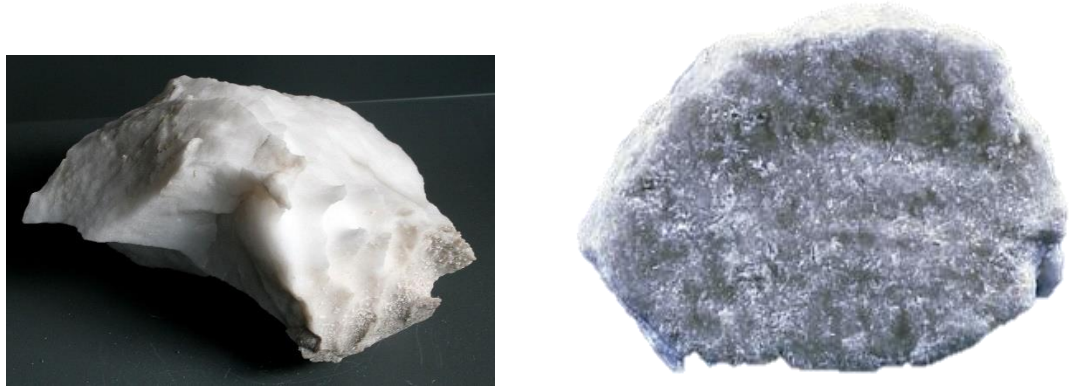
صخور وحيدة المنيرال تختلف فيما بينها بالتركيب الكيميائي، وظروف تكونها متشابهة وقريبة. من أهم هذه الصخور: الملح الصخري(الهاليت)، والجص والانهدريت.

الهاليت/ الملح الصخري

- **الملح الصخري /الهاليت Halit:**

صخر حبيبي بلوري يتكون بشكل أساسي من منيرال الهاليت (Nacl). يكون الملح الصخري النقي شفافاً عديم اللون، لكن غالباً ما يتلون بألوان عدة بسبب الشوائب.

خواصه: مذاقه مالح وسريع الذوبان في الماء.



الجص/الجبس

- **الجص (الجبس)/ Gypsum:**

يتكون من منيرال الجبس ($CaSo_4.2H_2O$) يصادف بشكل حبيبي بلوري ,أحياناً تكون بلوراته كبيرة وواضحة. يشكل عروقاً في الصخور الأخرى ويعبئ الشقوق والفراغات.

- **الانهدريت/Anhydrite:**

يتكون من منيرال الانهيدريت (CaSo4). لونه أبيض غالباً مايشوبه بقع رمادية أو رمادية سماوية. يوجد عادة على عمق 70-150m من سطح الأرض وأكثر. إذا اقترب من السطح فإنه يتشرب الماء ويتحول إلى الجص حيث يزداد حجمه بمقدار 30%.

عندما يكون الجص على أعماق كبيرة يفقد ماءه تحت تأثير ثقل الطبقات العلوية متحولاً إلى الانهدريت. أما إذا اقترب الانهدريت من السطح فيحدث العكس.

الخواص الهندسية:

يتحول الجص بالتسخين إلى الجبصين (CaSo4.1/2H2O)

ويستخدم في أعمال البناء والاكساء والديكورات.

2.6. الصخور السيليسية

- **الصوان (Chert) (أو حجر القدح (Flint)):** يتألف من الاوبال والكالسيدوان. يتواجد بشكل عقد أو بسماكات بسيطة ضمن الصخور الكلسية والمارنية. مكسره محاري؛ غالباً ما ينشأ عن ترسيب السيليس في المياه العذبة (منشأ كيميائي لا عضوي).

ألوانه: الألوان الغامقة (أسود عندما يتضمن شوائب عضوية) و يدعى حجر القدح، أحمر، بني، وردي (عندما يتضمن شوائب من أكاسيد الحديد) ويدعي الجاسبر ، يدعى أغات (Agate) عندما يكون مخططاً بشكل شرائط.

A. Agate أغات: صوان مخطط

صخور رسوبية عضوية Organic Rocks

التورب (التورف أو البيت) (Torf/Peat):

يتشكل من نباتات تكدست في مستنقعات أو ضفاف الأنهار بمعزل عن الهواء في البلدان ذات الهطولات العالية.شكله إسفنجي أو ليفي لونه بني أو أسمر داكن. الطورب من أقل الصخور الوقودية تفحماً ويعد من الوقود السيئة, نسبة الكربون 55-60% و يترك بعد احتراقه رماداً تصل نسبته إلى 10%.

الفحم الحجرى (Coal):

يحوي نسبة مرتفعة من الكربون. لونه أسود براق لا يتفتت باليد ولا يترك أثراً على الأصابع. يحترق بلهب خافت دون دخان تقريباً، يدعى احياناً بالفحم الحجري البيتوميني، يحتوي على نسبة كربون 77-87%

صخر كربوناتي ذو منشأ كيميائي يحتوي على شوائب غضارية بنسبة (35-50%)			
الصخر المارلي	الصخر الطيني	الحوار	الصخر الدولوميتي
صخر غضاري يكون بشكل طبقات رقيقة متوازية مع سطوح انفصام؟			
البنتونايت	الشيل	الكاولينيت	الرخام
صخر رسوبي ذو نسيج حطامي حبيبي؟			
الصخر الكلسي	الصخر الرملي	الجبس	السينيت
صخور تشكل ما نسبته 75-95% من الجزء السطحي للقشرة الأرضية؟			
الرسوبية	الاستحالية	المغماتية	الغرانيت