

## مقرر مواد بناء

لطلاب الهندسة المدنية

مدرس المقرر

د.م. مهند سليم مهنا

## أحجار البناء

مصطلح الحجر مشتق من الأحجار الطبيعية المستخرجة من القشرة الأرضية السطحية. تعتبر مادة الحجر من أقدم مواد البناء المعروفة استخداماً وأعلاها مقاومة لعوامل الزمن. بدء استخدام الحجر منذ ما يزيد عن 6000 سنة وتطور استعماله في حضارات العالم القديم كالحضارة المصرية وببلاد ما بين النهرين وكذلك حضارة الانكا في اميركا اللاتينية.

في بداية استخدام الحجر كمادة بناء، لم تكن عملية قطع وتشكيل الحجر معروفة أو واسعة الانتشار لذلك كان يتم بداية رص الحجر مع بعضه البعض للتخلص من الفراغات البينية وضمان تماسك البناء عن طريق قطع الحجر بدقة متناهية مما سبب ضياع الوقت والجهد. استمر ذلك حتى طور الإنسان معدات صقل وتشذيب الأحجار مع اكتشافه للحديد وتطبيقاته ومن ثم اكتشافه للملاط الكلسي (الجير) كمادة رابطة ولازمة بين وحدات الحجر مما ساهم في تسريع عمليات البناء والتشييد.



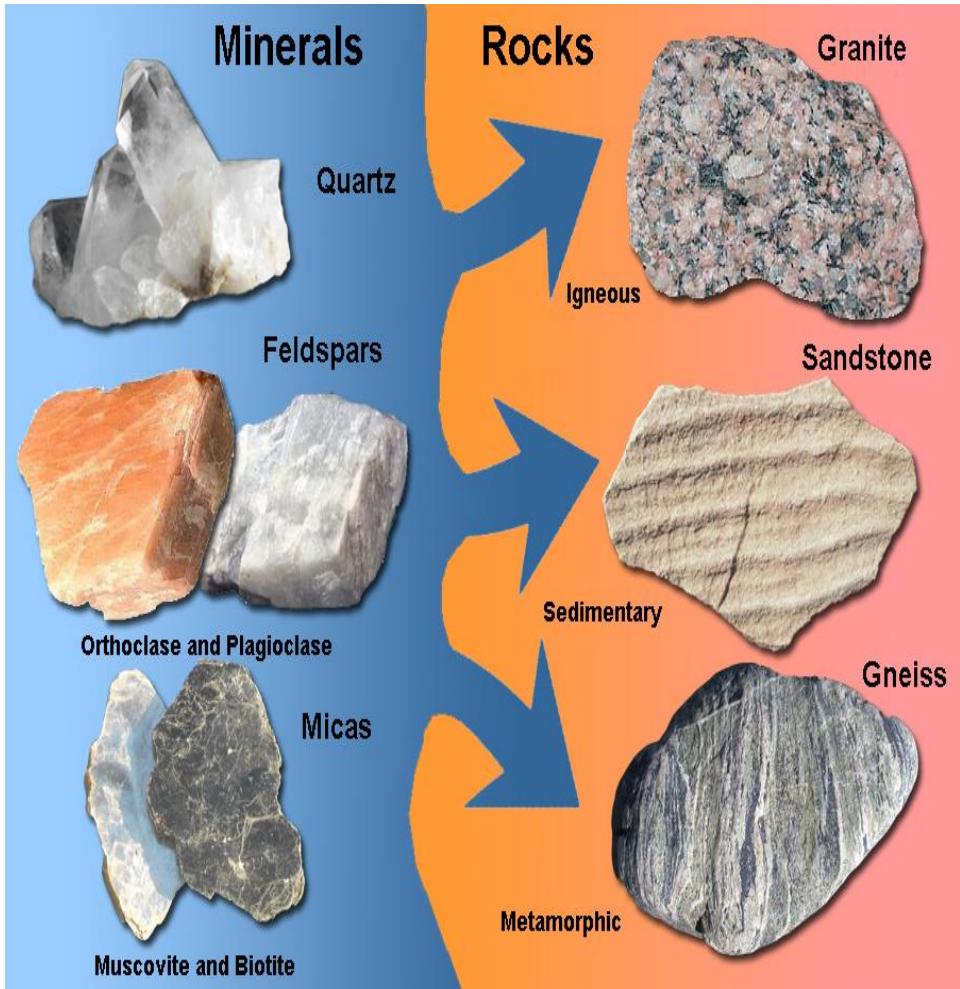
في أعمال البناء المعاصرة تستبدل عادة وحدات الحجر بوحدات الطوب والبلوك الاسمنتي والتي تتصف بخفة الوزن وسهولة التعامل. مع ذلك ما زال الحجر يستخدم بكثرة في نواحي الديكور (الاكساء الخارجي والداخلي) ورصف الممرات إضافة لاستخدامه أحياناً في الجملة الهيكلية للמבנה. مع الإشارة إلى تفضيل المهندسين عموماً للإطارات الانشائية الخرسانية والحديدية بسبب الاقتصادية وسرعة البناء والتشييد.



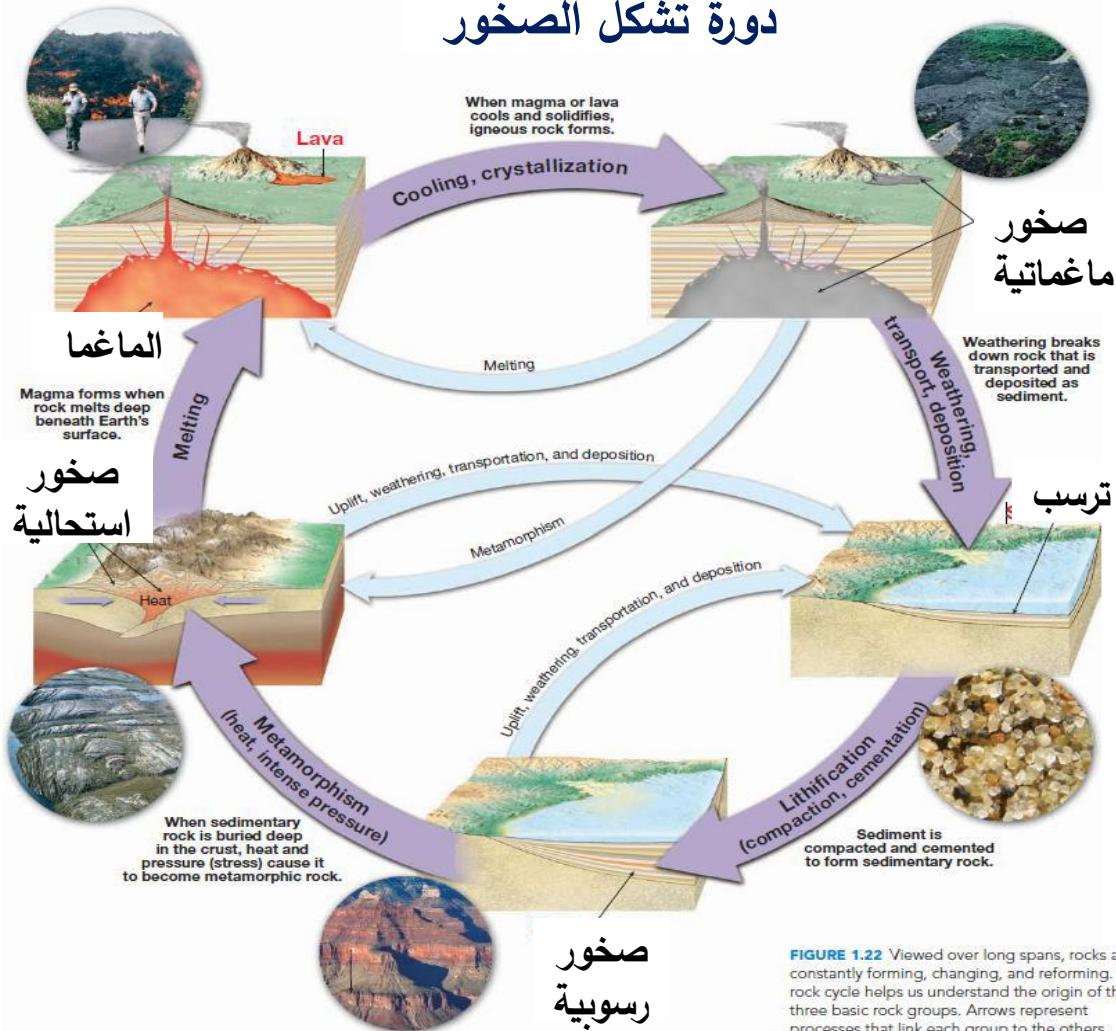
## الصخور

مادة صلبة تتشكل طبيعياً، مكونة من تجمع يتتألف من منيرال واحد (صخر وحيد المنيرال) مثل الصخر الكلسي المكون من منيرال الكالسيت، أو من عدة منيرالات بنسب مختلفة متراقبة فيما بينها (صخر متعدد المنيرالات): مثل صخر الغرانيت المكون من أورтокلاز و الكوارتز والأمفيبول. كما يمكن أن يتكون الصخر من أية مواد طبيعية غير منيرالية (عضوية أو غير عضوية) مثل الفحم الحجري والخفاف البركاني وهي صخور بركانية غير متبلورة).

يعتبر الصخر وحدة البناء الأساسية في بناء القشرة الأرضية، في حين أن المنيرال هو وحدة البناء الأساسية للصخر. و تختلف الصخور عن بعضها البعض من حيث أنواع المنيرالات المشكّلة لها و نسبتها، و من حيث طريقة تشكّلها و مكان تشكّلها.



## دورة تشكيل الصخور



تصنف الصخور جيولوجياً إلى ثلاثة مجموعات رئيسية:

**مagmaية (نارية).....(التبور)**

**صخور رسوبية.....(الدياجينيز)**

**صخور استحالية.....(الضغط والحرارة)**

FIGURE 1.22 Viewed over long spans, rocks are constantly forming, changing, and reforming. This rock cycle helps us understand the origin of the three basic rock groups. Arrows represent processes that link each group to the others.

## الأنواع الرئيسية للصخور المشكّلة للقشرة الأرضية:

### 1. الصخور المagmaتية (أو النارية) : (Magmatic or Igneous rocks)

وتشمل جميع أنواع الصخور التي نشأت من تصلب المagma (**عملية التبلور**)، و هي أكثر أنواع الصخور انتشاراً، حيث تشكل حوالي 65% من صخور القشرة الأرضية حجماً. كما أنها تعتبر أقدم الصخور عمراً، لذلك يطلق عليها غالباً الصخور الأم، ومن أمثلتها الغرانيت والديوريت، الغابرو والسينيت والبيريدوتيت. تقسم بحسب نسبة السيليكات إلى حامضية ، قاعدية، فوق قاعدية.



صخور فوق قاعدية

نسبة السيليكا أقل من 45%



صخور حامضية

نسبة السيليكا أكبر من 65%



البازلت



الغابرو

صخور قاعدية

## 2. الصخور الرسوبيّة (Sedimentary rocks)

وتشمل جميع أنواع الصخور التي نشأت من خلال عمليات تجوية وتعريّة ونقل الصخور المتوضعة عند سطح الأرض و من ثم ترسيّها و تراصّها و تصلبّها و ترابطّها بملاط رابط (**الدياجينيز**)، وتشكل حوالي 8% من صخور القشرة الأرضية، ولكنها تشكّل حوالي 75% من الصخور الصلبة القريبة من سطح الأرض، كما أنها تعتبر أهم الصخور بالنسبة للدراسات الهندسية كونها الأقرب إلى سطح الأرض عموماً و ضمن مجال النشاط الهندسي. من الصخور الرسوبيّة شائعة الاستخدام في أعمال البناء والآكساء: الصخر الكلسي والترافيرتين والصخر الرملي.



sandstone



### 3. الصخور الاستحالية (المتحولة) (Metamorphic rocks)

وتشمل جميع أنواع الصخور الماغماتية أو الرسوبيّة التي كانت موجودة و/or ضغط كبير والتي سببت تغييرات في الصخر الأصلي وأنتجت صخور جديدة مختلفة عن الصخور التي نشأت منها. وتشكل حوالي 27% من صخور القشرة الأرضية. من أمثلتها الرخام والشيست والسربيتين والأردواز. و مجموع الصخور الماغماتية والمحولة يبلغ حوالي 92% من صخور القشرة الأرضية حجماً.

Parent rock	الصخر الأصل (الأب)	الصخر المتحول (Metamorphic rocks)
Sandstone	الحجر الرملي (صخر رسوبي)	كوارتزيت (صخر متحول )
Granite	الغرانيت (صخر ناري أو مagmaي)	نais (صخر متحول )
Limestone	الحجر الكلسي (صخر رسوبي)	الرخام (صخر متحول )
Peridotite	البيريدوتيت (صخر ناري)	السربيتين/ أو التالك (صخر متحول)

البيريدوتيت  
استحالة



السرپنتين

الحجر الكلسي  
استحالة



الرخام

الحجر الرملي  
استحالة



الكوارتزيت

الغرانيت



استحالة



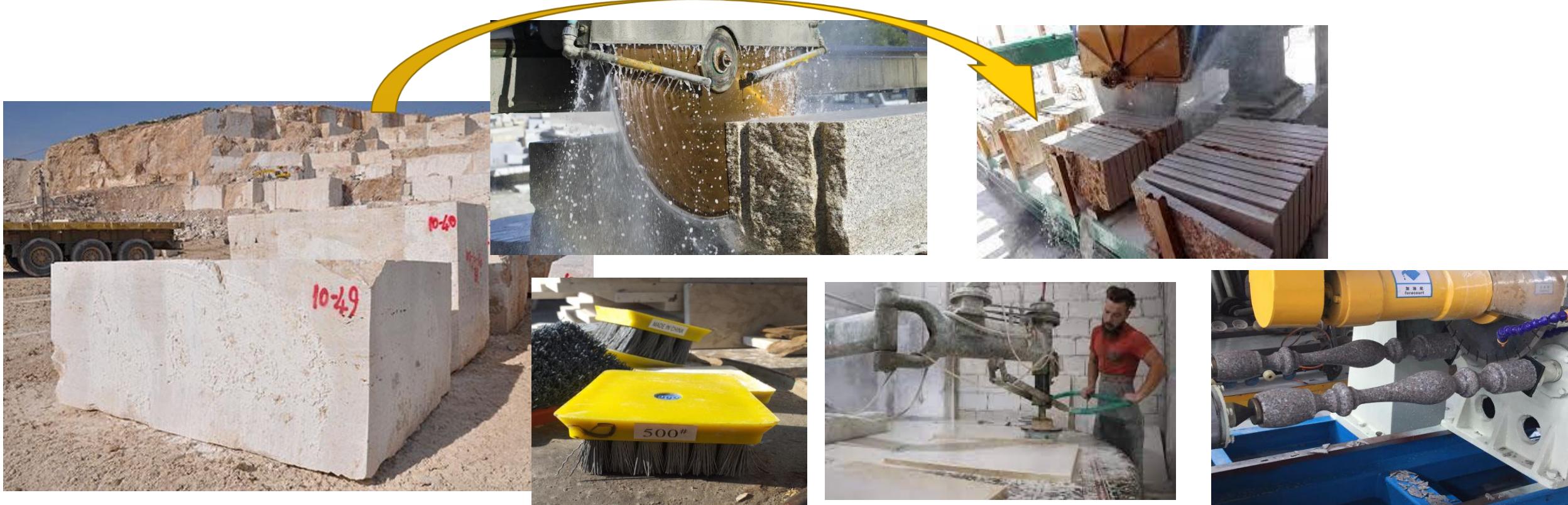
النایس

## صناعة الحجر

يستخرج حجر البناء من مقاولات خاصة حسب نوع الحجر، ويتم ذلك باستخدام معدات وطرق مختلفة حسب توافرها. يمكن استخراج الحجر من المقاييس باستخدام المعاول والعتلة أو عن طريق التفجير ولكن ينتج عن ذلك أشكال غير منتظمة. تستخدم معظم إدارات مقاولات الأحجار حالياً مناشير خاصة وضواغط هيدروليكيّة تعمل على فصل الكتل الصخرية إلى قطع بأحجام منتظمة قابلة للنقل والاستثمار.



يستخدم المنشار المائي غالباً في القطع النهائي للحجر وتنقى وتصقل الحجارة بعد قطعها بواسطة الشحذ واستخدام مادة صاقلة وملمعة أو أي مادة معالجة ضرورية للحصول على الانهاء المطلوب للعينة. فيما يتعلق بتنفيذ الأشكال المخروطية والاسطوانية فيتم عملها باستخدام مخارط مناسبة. تتحف الفوائل والزخرفات الخاصة باليد أو بالآلات خاصة للحصول على الشكل المطلوب.



## من أنواع الحجر الطبيعي شائعة الاستخدام في أعمال البناء:



الحجر الكلسي



الرخام



الغرانيت



البازلت



الأردواز

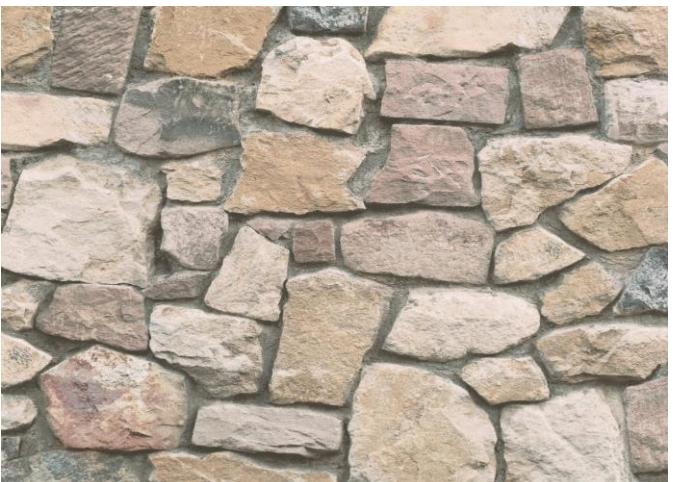
1. الحجر الجيري الكلسي
2. الرخام
3. الغرانيت
4. البازلت
5. الأردواز

## الحجر الكلسي (الجيри)

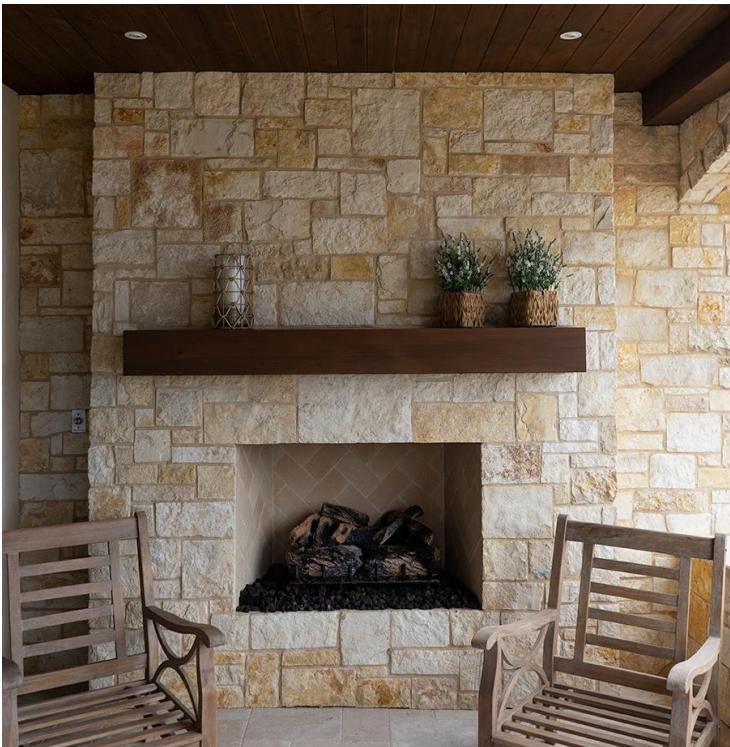
حجر طبيعي ينتمي إلى مجموعة الصخور الرسوبيّة التي تتكون من ترسب أجزاء الصخور المفككة بفعل عوامل التعرية.



- يتصرف بقدرة تحمل عالية
- معدل امتصاصه للماء قليل نسبياً بالاعتماد على درجة المسامية.
- مقاوم للحرق حتى 900 درجة مئوية حيث يتحول بعدها إلى جير حي.



الصخر الكلسي النقي لونه أبيض، ولكن نتيجة تواجده في الطبيعة فإنه يتأثر بها ويتغير لونه مائلاً للأصفر والأزرق والرمادي بحسب الشوائب الداخلة في تركيبه. يكتسب الصخر الكلسي لوناً بنياً إذا احتلّت به شوائب كبريتات الحديد الذي يسبب بقعًا ويكون حامض الكبريتيك الضار به.



- يستخدم في الحوائط الحاملة ويدخل في صناعة الاسمنت والمواد الحديدية.
- تعتمد مثانته (مقاومته) والوزن النوعي للحجر على خاصية المسامية فيه.
- يتراوح الوزن النوعي بين ( $2.24-2.7\text{g/cm}^3$ )
- تتراوح مساميته بين (0.3-20%).
- تتراوح مقاومته للضغط بين (10-50 MPa).

## الرخام (marble)



- حجر طبيعي ينتمي إلى مجموعة الصخور الاستحالية ،
- ينتج عن تحول الصخور الكلسية بفعل الحرارة والضغط.
- يتكون بشكل أساسي من مinerالات الكالسيت والدولوميت.
- تترواح مقاومته للضغط بين (50-150 MPa).
- يأتي الرخام بعدة ألوان وبه عروق مختلفة تعطيه جمالية مرغوبة. ويكثر استخدام الرخام بسبب قابليته للصلقل والتهذيب، جماليته، مقاومته الميكانيكية والديمومة.

## الرخام (marble)

يعتبر مقلع البدروسية في شمال اللاذقية ومقلعي مصياف والقدموس من المصادر الهامة للرخام المحلي





من المعلوم أن الرخام الجيد لا يحتوي على أحافير متبقية حيث أن الكالسيت نفسه أبيض اللون، لذلك فالرخام النقي هو الأبيض نصف الشفاف. اختلاف لون الرخام ووجود تعرقات لونية فيه يعود إلى الشوائب المصاحبة لعملية تكون الحجر الكلسي.

تدرج ألوانه من الأحمر، الوردي، البنفسجي، البني، الأخضر، البيج، الكريمي، ومن الأبيض حتى الرمادي والأسود.

يتأثر الرخام غير المعالج بالأحماس لذلك يوصى بتصقل وشحذ أسطحه عند استخدامه خارجياً. الرخام عموماً قاس وسميك، ويمكن تعبيئة الشقوق والعروق إن وجدت بمادة صمغية خاصة. لا يوصى باستعمال بعض أنواع الرخام (الرديئة نسبياً) للاستخدامات الخارجية أو المجالي بسبب تآكل أسطحه المكشوفة للعوامل المناخية والأحماس



# الغرانيت

من الصخور الماغماتية التي تكونت من خلال التبريد البطيء لل magma في الأعماق، حيث يسمح التبريد البطيء بتشكل بلورات كبيرة تُرى بسهولة بالعين المجردة ويغلب عليها اللون الوردي والأبيض والأسود. أما التبريد السريع لل magma فيترافق مع تشكيل صخور ذات بلورات صغيرة مجهرية كما في حالة البازلت الأسود أو الرمادي الغامق

- صخر صلب مقاوم للتآكل والعوامل الكيميائية بسبب مساميته المنخفضة.
- كبر حجم بلوراته وتباعين ألوانه تعطيه منظراً جمالياً مرغوباً.
- عند تعرضه للحرق وبسبب اختلاف عامل تمدد جزيئاته تنتج به شقوق تتبع مسارات وخطوط تركيب البلورات.



- يستخدم في أعمال الديكور وفي الأماكن المعرضة للتأكل كجوانب الأدراج والمجالي والأسطح الداخلية.
- يستخدم الغرانيت المكسر كحصويات في صناعة الخرسانة.
- معدل امتصاصه للماء قليل جداً ومساميته منخفضة جداً ( $n=0-1\%$ ).
- الكثافة الصلبة لغرانيت تتراوح بين  $(2.5-2.85 \text{ gr/cm}^3)$ .
- مقاومة الضغط لغرانيت تتراوح بين  $(110-220 \text{ MPa})$ .





## صخور رملية

صخر رسوبى حطامي يشكل حوالي 20% من الصخور الرسوبية ويكون من حبيبات بأبعاد (0.06-2mm) ويحتوى غالباً على منيرات محددة أهمها الكوارتز والفلدسبار والميكا وقليل من الطين. ملاط هذه الصخور متنوع جداً، فقد يكون سيليسياً، غضارياً، كلسياً وحتى حديدياً. هذه الروابط تعطي الصخر الرملي ألواناً مختلفة وتسميات فرعية. أهم أنواع الصخر الرملي الفرعية: الصخر الرملي الكوارتزي، حجر الطاحون.



- **الصخر الرملي والرمال :** تعتبر صالحة للتأسيس بالنسبة لمعظم المنشآت الهندسية
- **يستخدم الحجر الرملي القاسي ك أحجار للبناء ورميمات صخرية، أما الرمال فتستخدم في أعمال бетон** وكريميات محسنة وكذلك في صناعات الزجاج والسيليكون والدهانات.
- **الحجر الرملي والرمال ذو نفاذية عالية ويعتبر صخور نفوذ يخزن المياه**

## الأردواز

- حجر طبيعي ينتمي إلى مجموعة الصخور الاستحالية، مجهرى البلورات (لاترى بلوراته إلا بالمجهر)
- يتكون أصلًا من الغضار (الطفل)، ويكون عادة على شكل صفائح رقيقة من السهل انفلاقها أو انفصامها على شكل صفائح وألواح.
- يستخدم في أعمال الرصف للمرات وفي الأسقف الخارجية والديكور الداخلي.
- يأتي باللون الأسود والأحمر والأرجواني والأخضر والأزرق.



أردواز مائل للأحمر

أردواز اسود

## اختبار العينات الصخرية المستخدمة في أعمال البناء كالرخام والغرانيت:

### اختيار العينات:

يجب أن تؤخذ العينات لأغراض الاختبارات بمعدل ثلاث عينات لكل مائة بلاطة أو أقل من الإرسالية، على ألا يقل عدد العينات عن ثلاثة نماذج فحص لكل اختبار من الاختبارات المنصوص عليها لاحقاً.

### الاختبارات الأساسية:

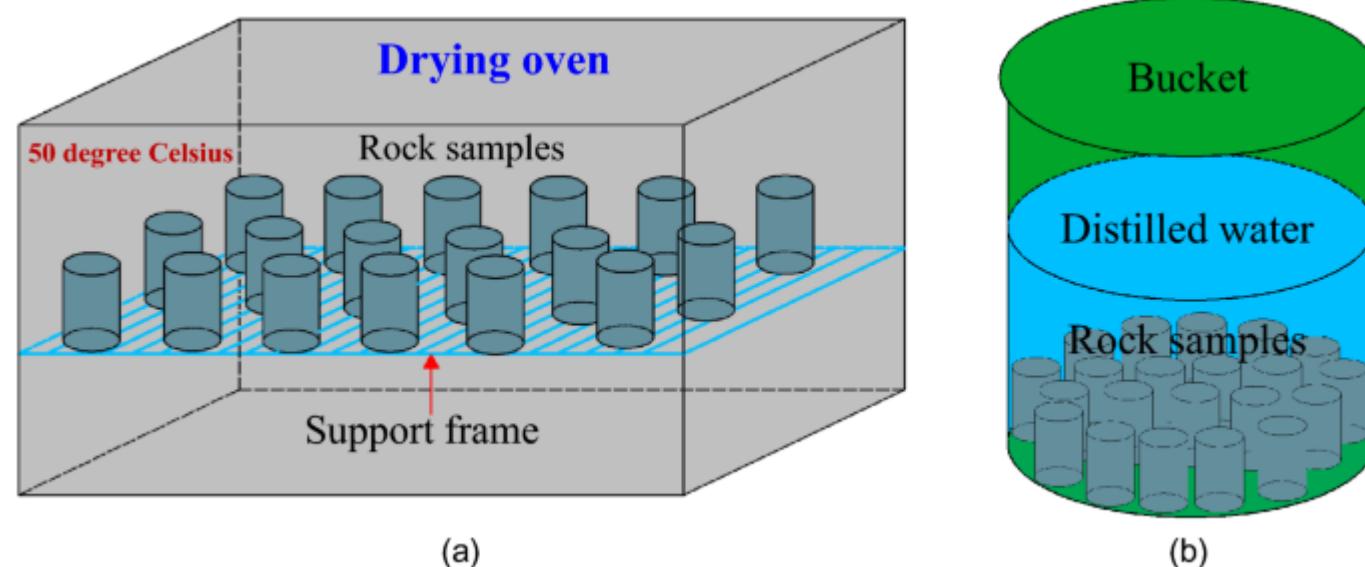


#### 1. اختبار الامتصاص:

- توزن العينة المختبرة بوضعها الجاف بدقة 0.1 غرام وليكن الوزن الجاف (m<sub>1</sub>)
- تغمر العينة ضمن حوض مائي حتى الاشباع
- تخرج العينة المشبعة من الحوض المائي وينشف سطحها وحوافها بقطعة قماش نظيفة وجافة.
- يحسب وزن العينة المشبعة في الهواء وليكن الوزن المشبع (m<sub>2</sub>)
- تحسب قيمة الامتصاص الأعظمي للماء من العلاقة:

$$W(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

يتراوح معدل امتصاص الماء للرخام والصخور الكلسية بين (0.2-12%) من الرخام الجيد (الأقل امتصاصاً) إلى الصخور الكلسية منخفضة الكثافة (الأكثر امتصاصاً). عند إجراء اختبار الامتصاص على عينات الصخر حسب المعايير القياسية الأمريكية (ASTM - C 97) يجب ألا يزيد متوسط امتصاص الماء لعينات الرخام عن (0.4%) ، ولعينات الغرانيت عن (0.75%).



## 2. الكثافة النوعية:



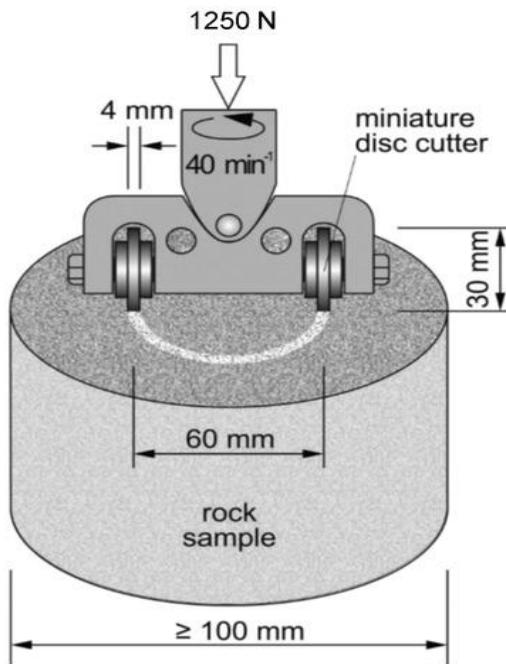
- توزن العينة المختبرة بوضعها الجاف بدقة 0.1 غرام ول يكن الوزن الجاف (m<sub>1</sub>)
- تغمر العينة ضمن حوض مائي حتى الاشباع
- تخرج العينة المشبعة من الحوض المائي وينشف سطحها وحوافها بقطعة قماش نظيفة وجافة.
- يحسب وزن العينة المشبعة في الهواء ول يكن الوزن المشبع (m<sub>2</sub>)
- توضع العينة المشبعة في سلة معلقة بميزان لقياس وزنها المشبع في الماء m<sub>3</sub> ليتم بعدها حساب الوزن النوعي أو الكثافة النوعية بالعلاقة:

$$G_s = \frac{m_1}{m_2 - m_3}$$

عند إجراء اختبار الكثافة النوعية على العينات حسب المعاصفات القياسية الأمريكية (ASTM-C 97)، يجب ألا يقل متوسط الكثافة النوعية لعينات الرخام الجيد عن (2.59) ولعينات الغرانيت عن (2.56). في حالة عينات الترافيرتين تكون الكثافة أقل عموماً ولكن بحيث لا تقل عن (2.3)



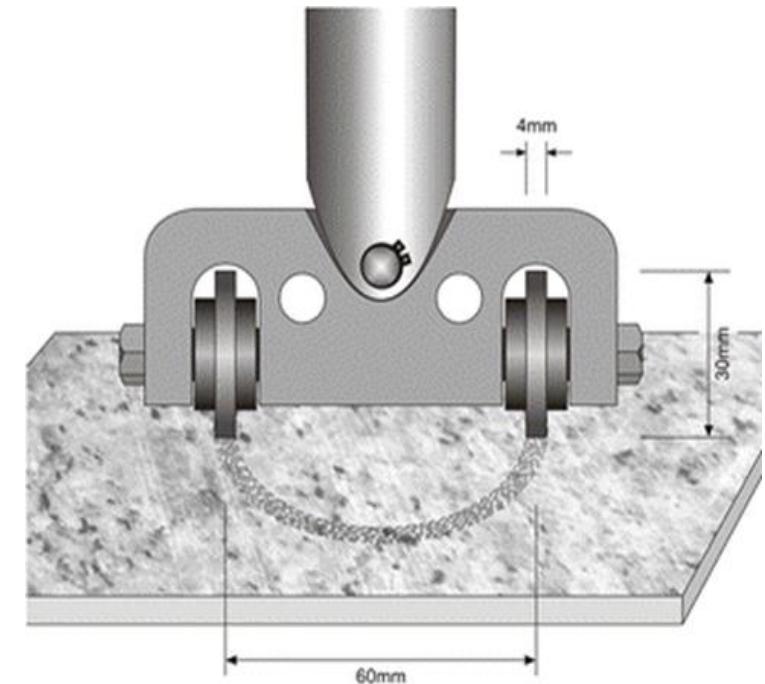
### 3. مقاومة التآكل:



- يتم تجهيز العينة المراد اختبارها بقصها على شكل شريحة مربعة بأبعاد (10×10cm) أو دائرية بقطر 10 cm وبسمك للشريحة لا تقل عن (1cm)
- توزن العينة قبل التجربة ولتكن وزنها الأولى ( $W_0$ ) وكثافتها النوعية ( $G_s$ )
- توضع عينة الصخر المراد اختبارها في صفيحة حاملة خاصة ضمن جهاز الاهتراء (Taber abraser)
- توضع عجلات الحت (abrasive wheel) على العينة ويطبق عليها عدد دورات (1000 دورة)
- يتم وزن العينة بعد الاهتراء ولتكن ( $W_i$ ).

$$I_w = \frac{36.75}{W_0 - W_i} \times G_s \quad \text{مقاومة التآكل:}$$

عند إجراء اختبار مقاومة التآكل على العينات حسب المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM-C 241)، يجب ألا يقل متوسط مقاومة التآكل لعينات الرخام عن (10) ولعينات الغرانيت عن (25).



#### 4. مقاومة الانعطاف (Flexural resistance)

تجهز العينة المراد اختبارها بالأبعاد التالية:

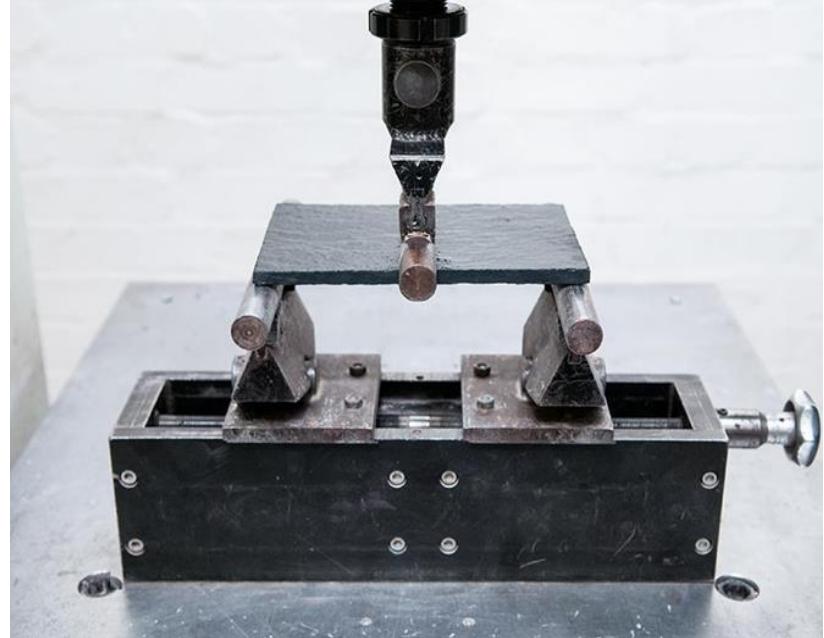
لا يقل عرضها  $b$  عن 10cm ، عمق العينة أو سماكتها  $d$  يحقق  $d > 1.5b$  ، طول العينة 381mm

توضع العينة بعد التأكد من قياس أبعادها على المكبس الخاص بالشد بالانعطاف بحيث يكون المجاز المختبر أي (المسافة بين مسندى الارتكاز) مساوياً لـ 318mm

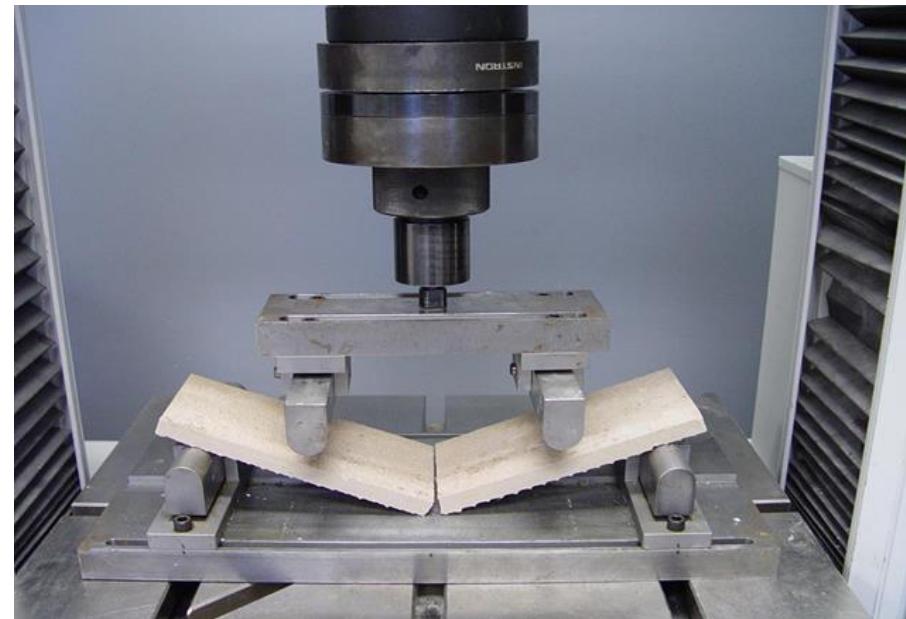
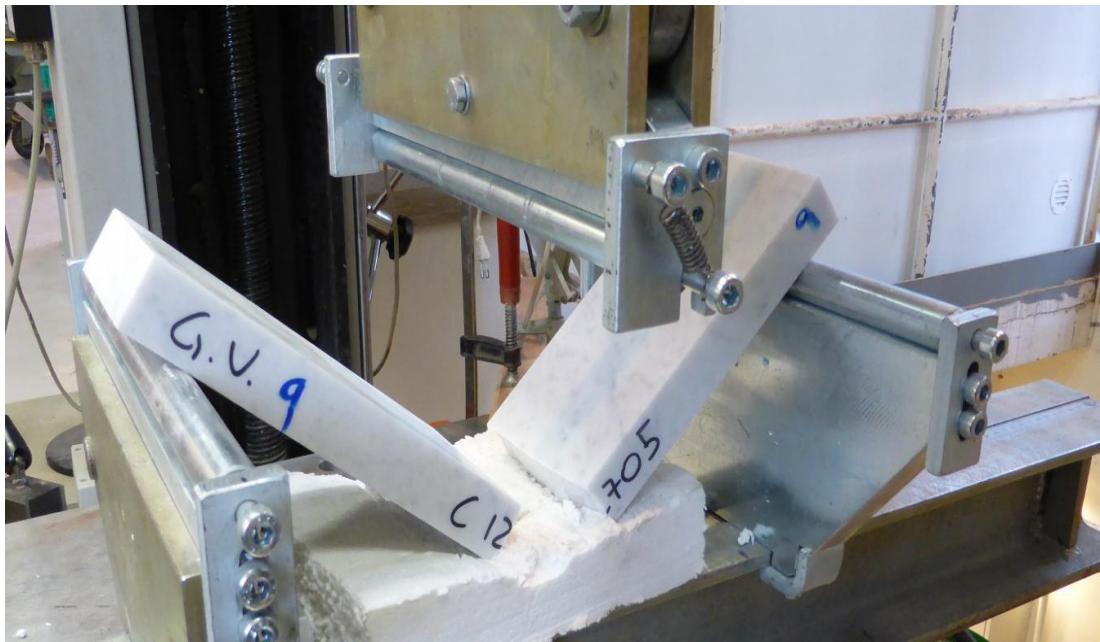
تطبق قوة ضغط تدريجية حتى انكسار العينة وانهيارها

تحسب مقاومة الشد بالانعطاف من العلاقة التالية:

$$\sigma_t = \frac{3}{2} \left[ \frac{F \times L}{b \times d^2} \right]$$



عند إجراء اختبار مقاومة الشد بالانعطاف على العينات حسب المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM – C880)، يجب ألا يقل متوسط مقاومة الانعطاف لعينات الرخام عن (7 MPa) ولعينات الغرانيت عن (8.27MPa).



## الخواص الفيزيائية والميكانيكية لبعض الصخور الهاامة:

نوع الصخر	امتصاص الماء (max)%	الكتافة (min) gr/cm <sup>3</sup>	مقاومة الضغط (min) MPa	مقاومة الشد بالانعطاف MPa
الغرانيت	0.4	2.56	131	10.3
الصخور الكلسية	طري	12	1.76-2.16	12
	نصف قاسي	7.5	2.16-2.56	28
	قاسي	3	>2.56	65
الرخام	كالسيت	0.75	2.6	52
	سريلتين	0.75	2.7	52
الصخور الرملية السيليسية	3	2.1	69	7
الصخور الرملية الكلسية	20	1.9	13.8	2.1

أي مما يلي لا يعتبر من أصناف الصخور الرئيسية الثلاث بحسب المنشأ؟

رسوبية

استحالية

الركام

ماغماتية

من الصخور الماغماتية الحامضية بلوراتها ترى بالعين المجردة:

الرخام

الغرانيت

الغابرو

الصخر الرملي

صخر رسوبى شائع الاستخدام في أعمال الاعباء:

الترافيرتين

الغرانيت

الأردواز

الرخام

من الأدوات والوسائل المستخدمة في القطع والتسوية النهائية للحجر:

الإزميل

المشار الماسي

المطارق

التغير

صخر شائع الاستخدام في الأكساء ينتج عن استحالة الحجر الكلسي:

البيريدوتيت

الغرانيت

الرخام

الكوارتزيت

صخر ماغماتي مقاوم للتأكل بلوراته كبيرة ومساميته منخفضة:

البازلت

الحجر الرملي

الأردواز

الغرانيت

يجب ألا يزيد متوسط امتصاص الماء لعينات الرخام ولعينات الغرانيت عن المجال:

%75-40

%0.078-0.04

%7.5-4

%0.75-0.4

## حدد الإجابة الخاطئة

جميع الصخور الآتية هي صخور استحالية؟

النایس

البازلت

السربيتين

الرخام

من أنواع الحجر الطبيعي شائع الاستخدام في أعمال الأبنية والاكساء

البازلت

الغرانيت

الرخام

السربيتين

يتصف الحجر الجيري الكلاسيكي بـ:

ذو منشأ رسوبى

مقاوم للحرق

امتصاص عالي للماء

قوة تحمل عالية

يتصف الرخام بأنه:

يستخرج محلياً من البدروسوية

يحتوى تعرقات لونية

استحالي المنشأ

لا يتأثر بالأحماس