

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 وبلاد ما بين النهرين وكذلك حضارة الانكا في اميركا اللاتينية.

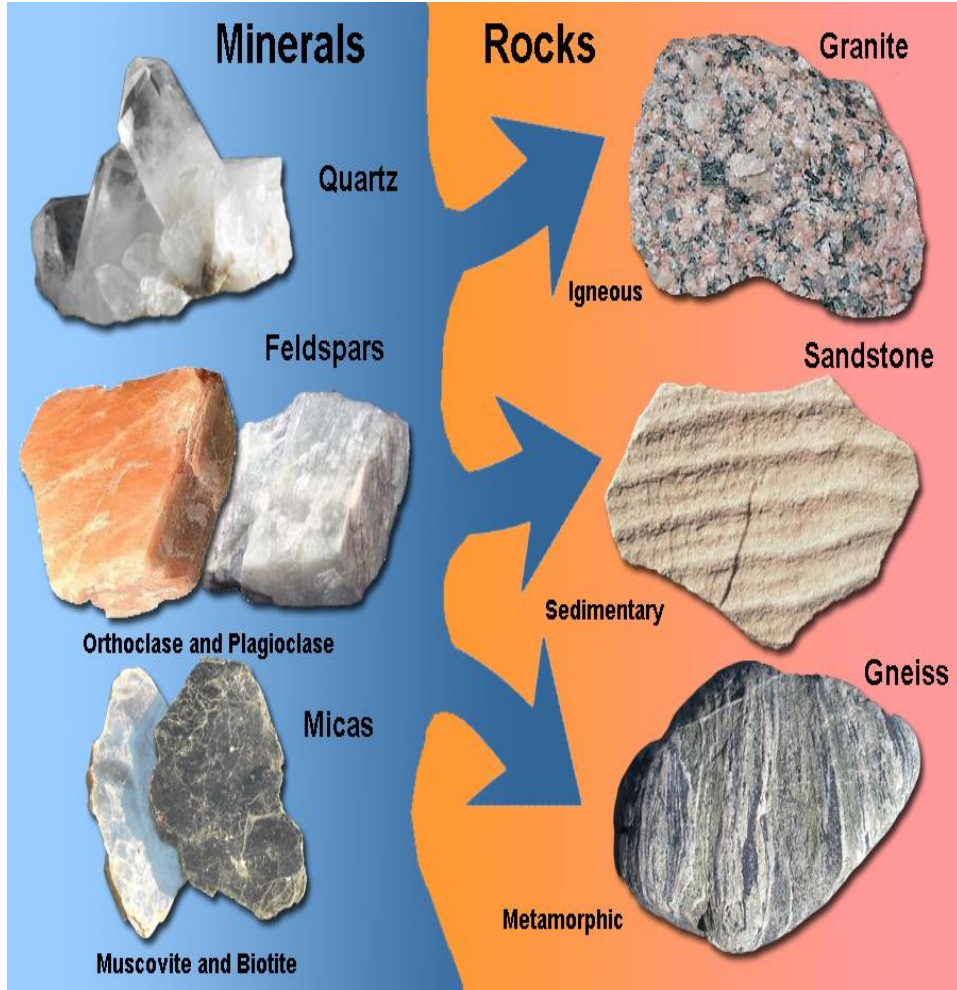


في بداية استخدام الحجر كمادة بناء، لم تكن عملية قطع وتشكيل الحجر معروفة أو واسعة الانتشار لذلك كان يتم بداية رص الحجر مع بعضه البعض للتخلص من الفراغات البينية وضمان تماسك البنيان عن طريق قطع الحجر بدقة متناهية مما سبب ضياع الوقت والجهد. استمر ذلك حتى طور الإنسان معدات صقل وتشذيب الأحجار مع اكتشافه للحديد وتطبيقاته ومن ثم اكتشافه للملاط الكلسي (الجير) كمادة رابطة ولاحمة 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 مازال الحجر يستخدم بكثرة في نواحي الديكور (الاكساء الخارجي والداخلي) ورصف الممرات إضافة لاستخدامه أحياناً في الجملة الهيكلية للمبنى.
مع الإشارة إلى تفضيل المهندسين عموماً للإطارات الانشائية الخرسانية والحديدية بسبب الاقتصادية وسرعة الانشاء والتشييد.



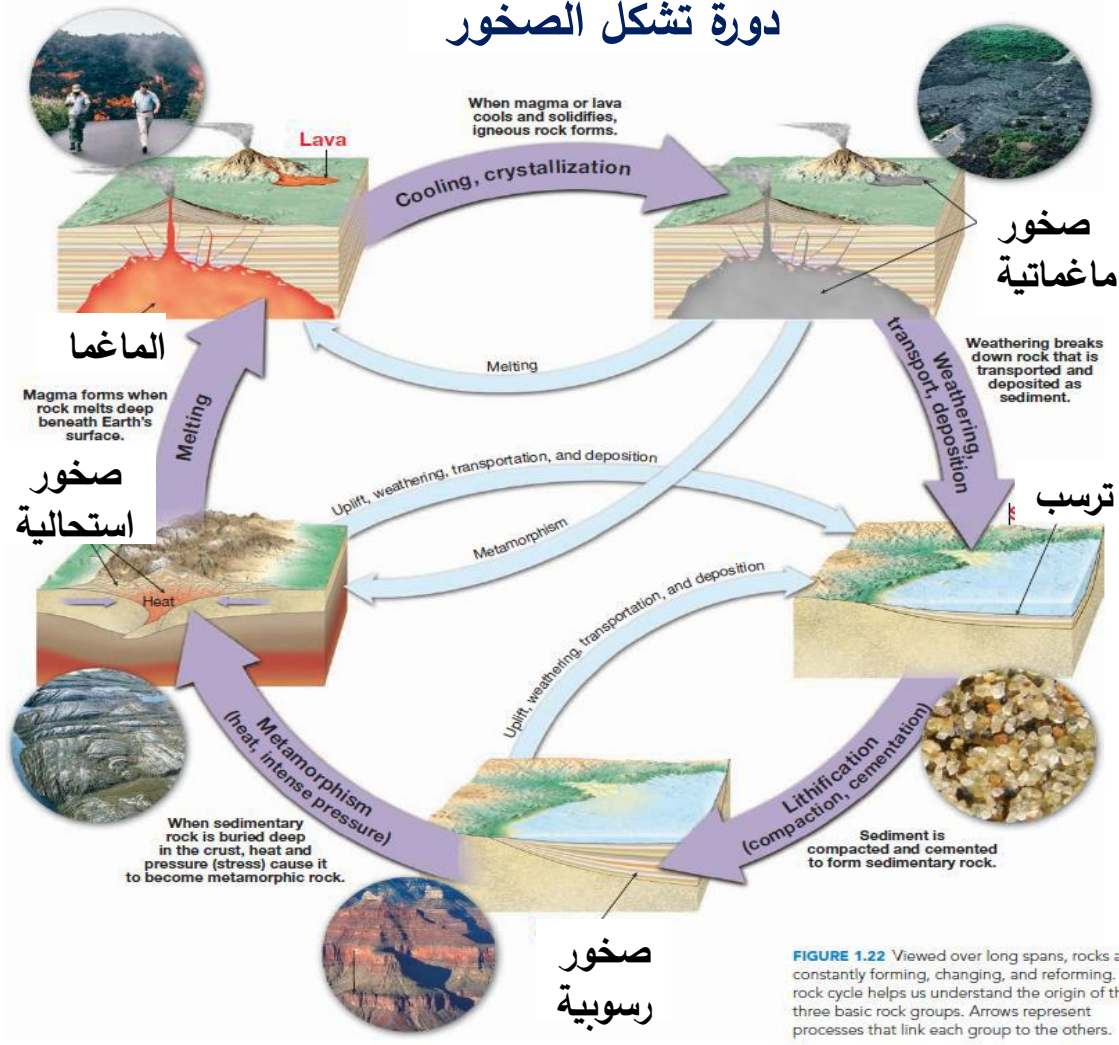
الصخور



مادة صلبة تتشكل طبيعياً، مكونة من تجمع يتألف من منيرال واحد (صخر وحيد المنيرال) مثل الصخر الكلسي المكون من منيرال الكالسيت، أو من عدة منيرالات بنسب مختلفة مترابطة فيما بينها (صخر متعدد المنيرالات): مثل صخر الغرانيت المكون من أورتوكلاز و الكوارتز و الأمفيبول. كما يمكن أن يتكون الصخر من أية مواد طبيعية غير منيرالية (عضوية أو غير عضوية) مثل الفحم الحجري و الخفان البركاني و هي 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 المشكلة لها و نسبها، و من حيث طريقة تشكلها و مكان تشكلها.

دورة تشكّل الصخور



تصنف الصخور جيولوجياً إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

ماغماتية (نارية).....(التبلور)

صخور رسوبية.....(الدياجينيز)

صخور استحالية.....(الضغط والحرارة)

الأنواع الرئيسية للصخور المشكلة للقشرة الأرضية:

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

وتشمل جميع أنواع الصخور التي نشأت من تصلب الماغما (**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.

البيريدوتيت



صخور فوق قاعدية

نسبة السيليكا أقل من 45 %

الغرانيت



صخور حامضية

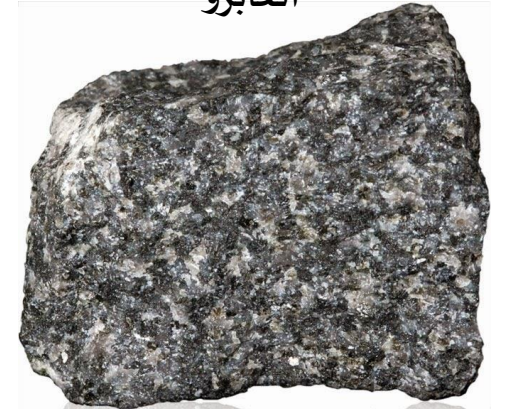
نسبة السيليكا أكبر من 65 %

البازلت



صخور قاعدية

الغابرو



2. الصخور الرسوبية (Sedimentary rocks) :

و تشمل جميع أنواع الصخور التي نشأت من خلال عمليات تجوية و تعرية و نقل الصخور المتوضعة عند سطح الأرض و من ثم ترسيبها و تراصها و تصلبها و ترابطها بملاط رابط **(الدياجينيز)**، و تشكل حوالي 8% من صخور القشرة الأرضية، و لكنها تشكل 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 الرسوبية شائعة الاستخدام في أعمال البناء والاكساء: الصخر الكلسي والترافيرتين و الصخر الرملي.



sandstone



ترافيرتين



صخر كلسي

3 . الصخور الاستحالية (المتحولة) (Metamorphic rocks)

وتشمل جميع أنواع الصخور الماغمية أو الرسوبية التي كانت موجودة و تعرضت لحرارة مرتفعة و/أو ضغط كبير والتي سببت تغيرات في الصخر الأصلي وأنتجت صخور جديدة مختلفة عن الصخور التي نشأت منها. وتشكل حوالي 27% من صخور القشرة الأرضية. من أمثلتها الرخام و الشيست والسرينتين والأردواز . و مجموع الصخور الماغمية و المتحولة 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) Quartzite
Granite	الغرانيت (صخر ناري أو مغماتي)	➡	نايس (صخر متحول) Gneiss
Limestone	الحجر الكلسي (صخر رسوبي)	➡	الرخام (صخر متحول) Marble
Peridotite	البيريدوتيت (صخر ناري)	➡	السرينتين/ أو التالك (صخر متحول)

البيريدوتيت

استحالة



السربنتين

الحجر الكلسي

استحالة



الرخام

الحجر الرملي

استحالة

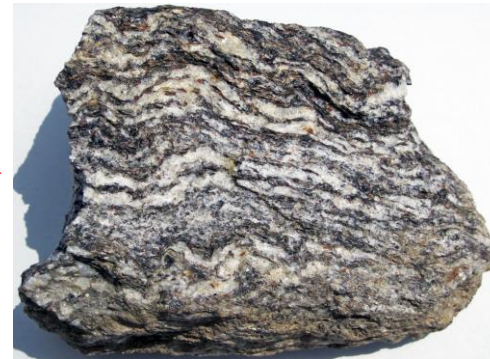


الكوارتزيت

الغرانيت



استحالة



النيس

صناعة الحجر

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



يستخدم المنشار الماسي غالباً في القطع النهائي للحجر وتنهي وتصلق الحجارة بعد قطعها بواسطة الشد واستخدام مادة صاقلة وملمعة أو أي مادة معالجة ضرورية للحصول على الانتهاء المطلوب للعينة. فيما يتعلق بتنفيذ الأشكال المخروطية والاسطوانية فيتم عملها باستخدام مخارط مناسبة. تنحت الفواصل والزخرفات الخاصة باليد أو بآلات خاصة للحصول على الشكل المطلوب .



من أنواع الحجر الطبيعي شائعة الاستخدام في أعمال البناء:

1. الحجر الجيري الكلسي

2. الرخام

3. الغرانيت

4. البازلت

5. الأردواز



الحجر الكلسي



الرخام



الغرانيت



البازلت



الأردواز

الحجر الكلسي (الجيري)

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

- يتصف بقدرة تحمل عالية
- معدل امتصاصه للماء قليل نسبياً بالاعتماد على درجة المسامية.
- مقاوم للحريق 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 اختلط به شوائب كبريتات الحديد الذي يسبب بقعاً ويكون حامض الكبريتيك الضار به.

- يستخدم في الحوائط الحاملة ويدخل في صناعة الاسمنت والمواد الحديدية.

- تعتمد متانته (مقاومته) والوزن النوعي للحجر على خاصية المسامية فيه.

- يتراوح الوزن النوعي بين $(2.24-2.7\text{g/cm}^3)$

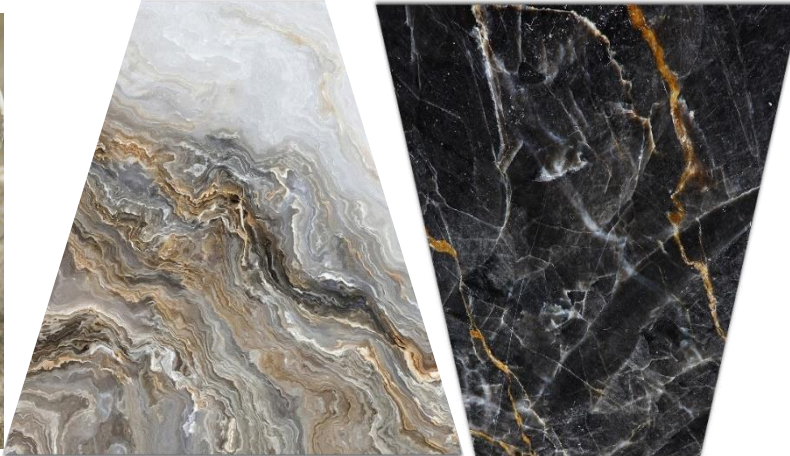
- تتراوح مساميته بين $(0.3-20\%)$

- تتراوح مقاومته للضغط بين $(10-50\text{ MPa})$.



الرخام (marble)

- حجر طبيعي ينتهي إلى مجموعة الصخور الاستحالية ،
- ينتج عن تحول الصخور الكلسية بفعل الحرارة والضغط.
- يتكون بشكل أساسي من منيرالات الكالسيت والدولوميت.
- تتراوح مقاومته للضغط بين (50-150 MPa).
- يأتي الرخام بعدة ألوان وبه عروق مختلفة تعطيه جمالية مرغوبة.
- ويكثر استخدام الرخام بسبب قابليته للصقل والتهديب، 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 الكالسيوم 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. تتدرج ألوانه من الأحمر، الوردى، البنفسجي، البني، الأخضر، البيج، الكريمي، ومن الأبيض حتى الرمادي والأسود.



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



الغرانيت

من الصخور الماغمية التي تكونت من خلال التبريد البطيء للمagma في الأعماق، حيث يسمح التبريد البطيء بتشكيل بلورات كبيرة تُرى بسهولة بالعين المجردة ويغلب عليها اللون الوردي والأبيض والأسود. أما التبريد السريع للمagma 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 وتباين ألوانه تعطيه منظراً جمالياً مرغوباً.
- عند تعرضه للحريق وبسبب اختلاف عامل تمدد جزيئاته تنتج به شقوق تتبع مسارات وخطوط تركيب البلورات.





• يستخدم في أعمال الديكور وفي الأماكن المعرضة للتآكل 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 للغرانيت تتراوح بين ($2.5-2.85 \text{ gr/cm}^3$).

• مقاومة الضغط للغرانيت تتراوح بين ($110-220 \text{ MPa}$).





صخور رملية

صخر رسوبي حطامي يشكل حوالي 20% من الصخور الرسوبية ويتكون من حبيبات بأبعاد (0.06-2mm) ويحتوي غالباً على منيرالات 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 كأحجار للبناء وردميات صخرية، أما الرمال فتستخدم في أعمال البيتون وكردميات 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، مجهري البلورات (لاترى بلوراته إلا بالمجهر)
- يتكون أصلاً 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:

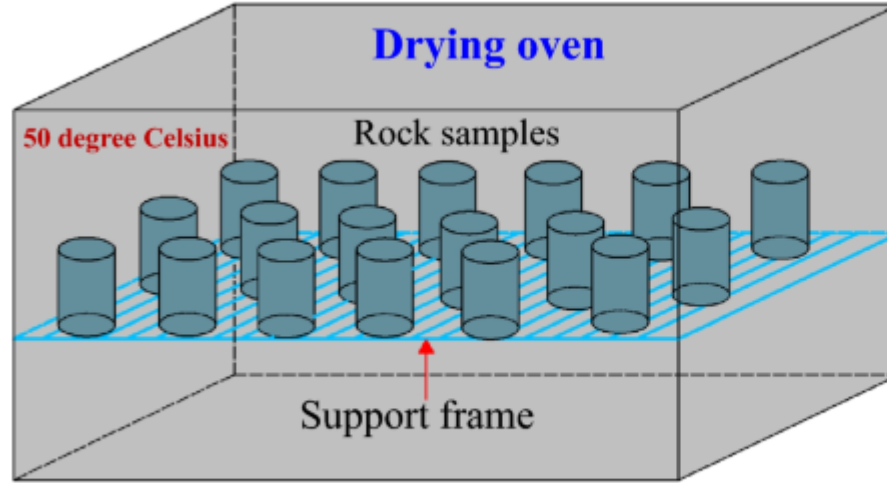
1. اختبار الامتصاص:

- توزن العينة المختبرة بوضعها الجاف بدقة 0.1 غرام وليكن الوزن الجاف (m_1)
- 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_2)
- تحسب قيمة الامتصاص الأعظمي للماء من العلاقة:

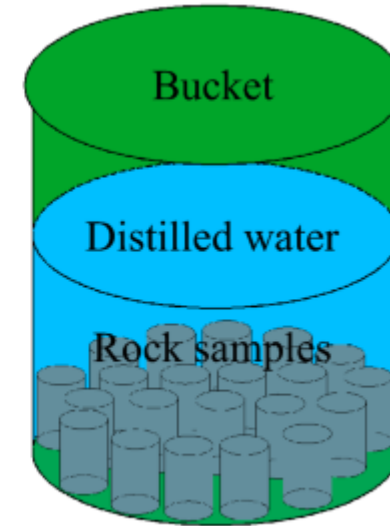
$$W(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$



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 المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM - C 97) يجب ألا يزيد متوسط امتصاص الماء لعينات الرخام عن (0.75%) ، ولعينات الغرانيت عن (0.4%).



(a)



(b)

2. الكثافة النوعية:



- توزن العينة المختبرة بوضعها الجاف بدقة 0.1 غرام وليكن الوزن الجاف (m_1)
- 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_2)
- توضع العينة المشبعة في سلة معلقة بميزان لقياس وزنها المشبع في الماء m_3 ليتم بعدها حساب الوزن النوعي أو الكثافة النوعية بالعلاقة:

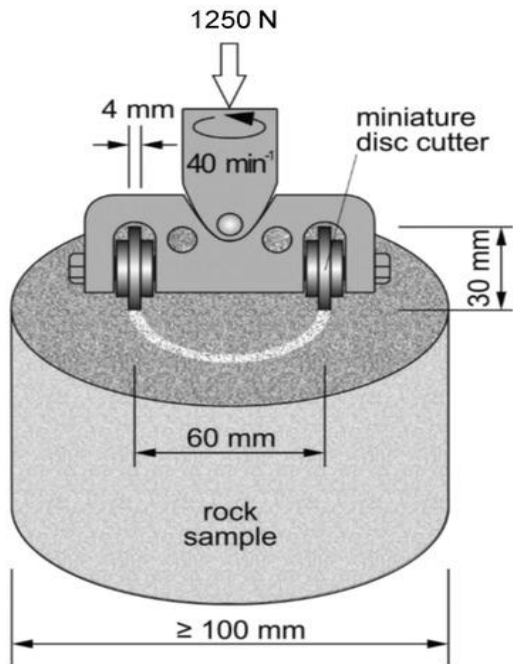
$$G_s = \frac{m_1}{m_2 - m_3}$$

عند إجراء اختبار الكثافة النوعية على العينات حسب المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM- C 97)، يجب ألا يقل متوسط الكثافة النوعية لعينات الرخام الجيد عن (2,59) و لعينات الغرانيت عن (2.56). في حالة عينات الترافيرتين تكون الكثافة أقل عموماً ولكن بحيث لا تقل عن (2.3)



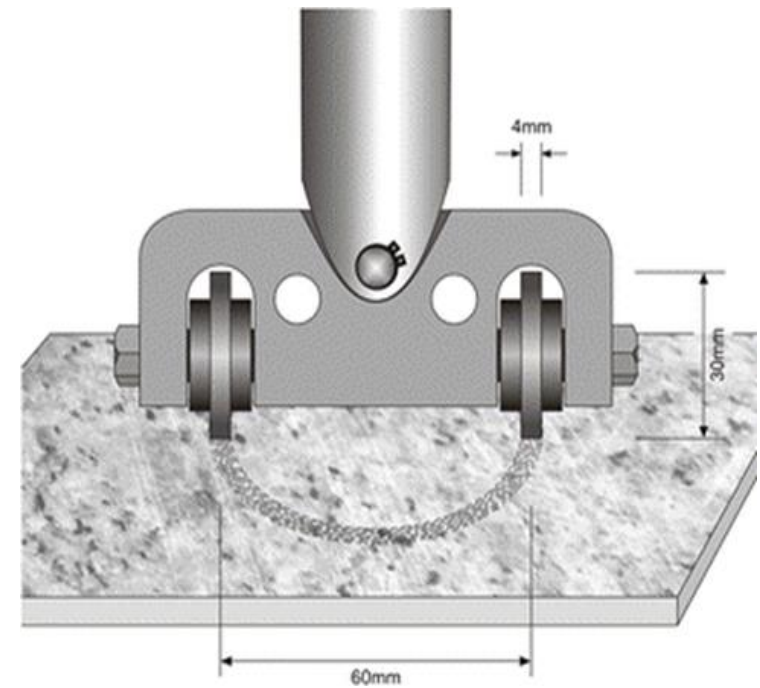
3. مقاومة التآكل:

- يتم تجهيز العينة المراد اختبارها بقصصها على شكل شريحة مربعة بأبعاد (10×10cm) أو دائرية بقطر 10 cm وبسمكة للشريحة لاتقل عن (1cm)
- توزن العينة قبل التجربة وليكن وزنها الأولي (W0) وكثافتها النوعية (Gs)
- 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 وليكن (Wi).



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

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



4. مقاومة الانعطاف (Flexural resistance):

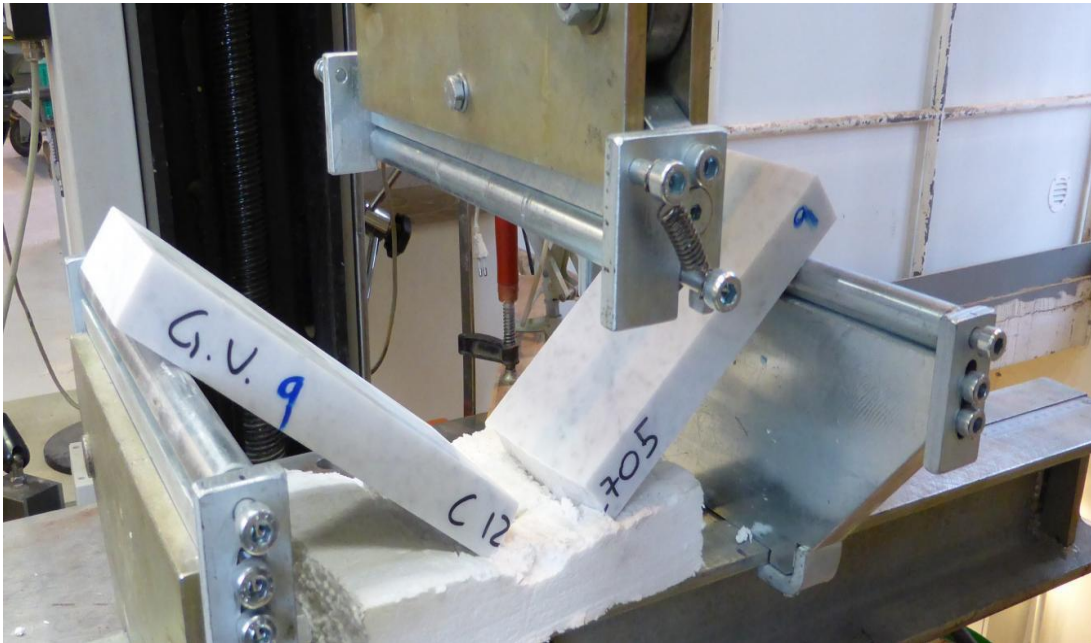
تجهز العينة المراد اختبارها بالأبعاد التالية:

لا يقل عرضها b عن 10cm ، عمق العينة أو سماكتها d يحقق $b > 1.5d$ ، طول العينة 381mm
توضع العينة بعد التأكد من قياس أبعادها على المكبس الخاص بالشد بالانعطاف بحيث يكون المجاز المختبر أي
(المسافة بين مسندي الارتكاز L) مساوياً لـ 318mm

تطبق قوة ضغط تدريجية حتى انكسار العينة وانهارها
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 الهامة:

نوع الصخر		امتصاص الماء (max)%	الكثافة (min) gr/cm ³	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	2.8
	نصف قاسي	7.5	2.16-2.56	28	3.5
	قاسي	3	>2.56	65	7
الرخام	كالسيت	0.75	2.6	52	7
	سربنتين	0.75	2.7	52	7
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:			
الصخر الرملي	الغابرو	الغرانيت	الرخام
صخر رسوبي شائع الاستخدام في أعمال الأكساء:			
الرخام	الأردواز	الغرانيت	الترافيرتين
من الأدوات والوسائل المستخدمة في القطع والتسوية النهائية للحجر:			
التفجير	المطارق	المنشار الماسي	الإزميل

صخر شائع الاستخدام في الأكساء ينتج عن استحالة الحجر الكلسي:			
الكوارتزيت	الرخام	الغرانيت	البيريدوتيت
صخر ماغماتي مقاوم للتآكل بلوراته كبيرة ومساميته منخفضة:			
الغرانيت	الأردواز	الحجر الرملي	البازلت
يجب ألا يزيد متوسط امتصاص الماء لعينات الرخام ولعينات الغرانيت عن المجال:			
%0.75-0.4	%7.5-4	%0.078-0.04	%75-40

حدد الإجابة الخاطئة

جميع الصخور الآتية هي صخور استحالية؟

الرخام	السربنتين	البازلت	النايس
من أنواع الحجر الطبيعي شائع الاستخدام في أعمال الأبنية والاكساء			
السربنتين	الرخام	الغرانيت	البازلت
يتصف الحجر الجيري الكلسي بـ:			
قوة تحمل عالية	امتصاص عالي للماء	مقاوم للحريق	ذو منشأ رسوبي
يتصف الرخام بأنه:			
لا يتأثر بالأحماض	استحالي المنشأ	يحتوي تعرقات لونية	يستخرج محلياً من البدروسية