مقرر تكنولوجيا المواد

لطلاب هندسة العمارة

مدرس المقرر

د.م. مهند سليم مهنا

المواضيع الأساسية في المقرر

- مقدمة عن محتويات المقرر وصناعة مواد البناء
- الخصائص الفيزيائية لمواد البناء المختلفة
- الخصائص الميكانيكة والكيميائية لمواد البناء الأساسية
- أحجار البناء و الاستخدامات الهندسية للصخور
- مواصفات الركام الناعم والخشن واختباراته
- الاسمنت :مراحل صناعته ، أنواعه ومعايير ضبط الجودة
- الخرسانة العادية والمسلحة والإضافات التحسينية
- اختبارات الخرسانة الصلبة وتقييم سلامة المنشآت
- فولاذ التسليح :اختباراته ومعايير ضبط الجودة
- الخرسانة الخضراء ومفاهيم الاستدامة

المواضيع الأساسية في المحاضرة

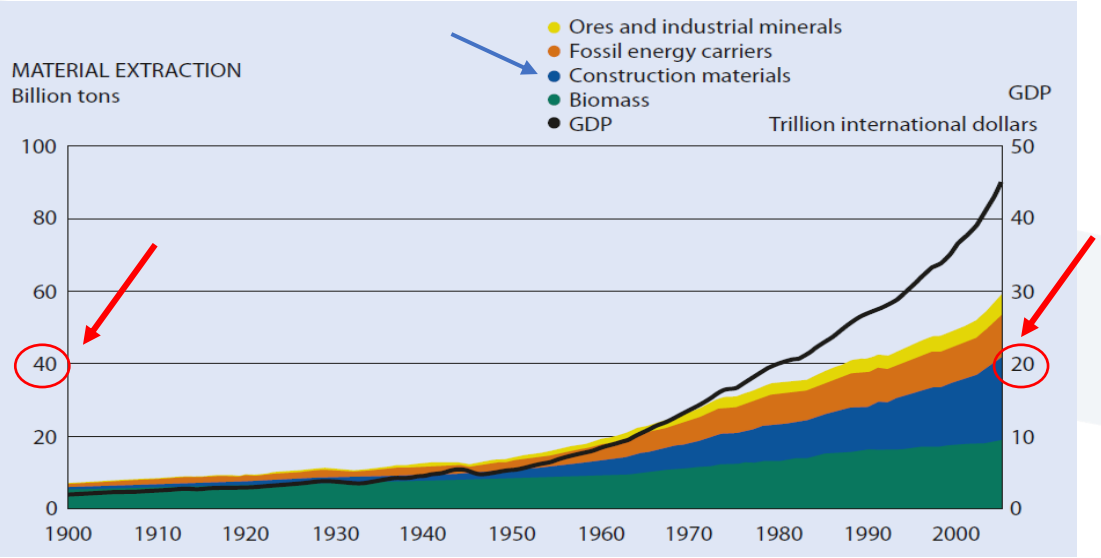
تطور صناعة البناء

الأنواع المتنوعة لمواد البناء

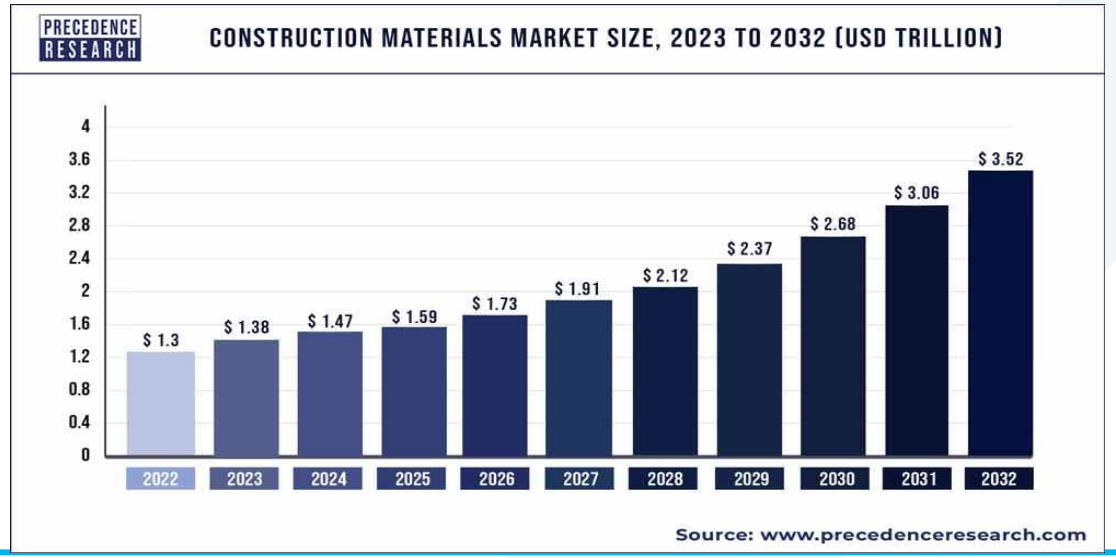
الخصائص المختلفة لمواد البناء

الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمواد البناء

في العصر الحالي يعتبر البناء صناعة ويعتبر تصنيع وتجارة مواد البناء أحد أكثر الصناعات ربحاً في العالم.



تطور استخراج المواد المختلفة بما فيها مواد البناء من 1900 حتى 2005



تساعد دراسة مواد البناء على استخدام المادة المناسبة في البناء المطلوب، ويتم الكشف عن صلاحية المادة بواسطة الاختبارات، وللعامل الاقتصادي دور هام في اختيار المواد.

تقسم مواد البناء إلى مواد طبيعية كالصخور والأخشاب أو صناعية كالخرسانة والالياف الصناعية.

المواد الطبيعية كالصخور (الغرانيت، البازلت، الرخام...) والأخشاب قد تُجرى عليها عدة عمليات حتى تصبح جاهزة للاستخدام، والخرسانة تعتبر مادة صناعية لأنها تحتاج إلى عدة عناصر وعمليات معالجة لتشكل المنتج النهائي الجاهز للاستخدام.

التسلسل التاريخي لظهور مواد البناء

مرت مواد البناء أو صناعة البناء بثلاث مراحل:

آخر المواد المهمة المصنعة مثل الاسمنت البورتلاندي والبلاستيك قد ظهرتا في منتصف القرن التاسع عشر .... مع الإشارة إلى أن الرومان قد عرفوا الخرسانة منذ اكثر من ألفي عام على شكل محدود بطحن الصخر الكلسي وشويه ثم خلطه مع الرماد البركاني.

	مواد البناء	الفترة الزمنية	ملاحظات
الطبيعية الغير معالجة	الحجر	قبل ٨٠٠٠ BC	تستخدم كما هي دون معالجة، تجمع ويبنى بها مباشرة وهي أقدم الأنواع.
	الطين	قبل ٨٠٠٠ BC	
	الخشب/ القصب / القش	قبل ٨٠٠٠ BC	
	الكلس	٣٠٠٠ BC	
	الكلس (اسمنت بوزلانا)	AD٤٧٦ – BC٣٠٠	
	القرميد المجفف بالشمس	٦٠٠٠ BC	
	الثلج	٨٠٠٠ BC	يستخدم في مناطق محدودة، كالقطب الشمالي
الطبيعية المعالجة	الحجر المقصوص	٨٠٠٠ BC	قبل البدء بالبناء يجب معالجتها قليلاً كتسوية أوجه الحجارة، صنع القوالب وقطع الأشجار.
	الطوب	٨٠٠٠ BC	
	الخشب	٨٠٠٠ BC	
مواد البناء المصنعة	الفخار والطابوق المشوي	BC٨٠٠٠–BC٤٠٠٠	تمر المواد الطبيعية بمرحلة تصنيع قبل استخدامها للبناء.
	الخرسانة	BC٣٠٠	
	الاسمنت البورتلاندي	AD١٨٢٤	
	الحديد	١٣٥٠ BC	
	الألمنيوم	AD ١٨٠٨	
	الزجاج	١٣٠٠ BC	
	القماش	٨٠٠٠ BC	
	البلاستيك	AD١٨٦٢	

يمكن عموماً تقسيم تطور صناعة البناء إلى ثلاث مراحل تاريخية ، تتميز كل منها بمجموعة مواد خاصة بها:

- الخشب والحجر والطوب (حتى منتصف القرن التاسع عشر).
- الصلب والزجاج والخرسانة (منتصف القرن التاسع عشر - منتصف القرن العشرين).
- الخرسانة المسلحة والمعادن والبلاستيك والحجر الصناعي (من النصف الثاني من القرن العشرين حتى يومنا هذا)

مبنى من خشب وحجر

ألياف زجاجية وخرسانة

الأصناف والأنواع المختلفة من مواد البناء:

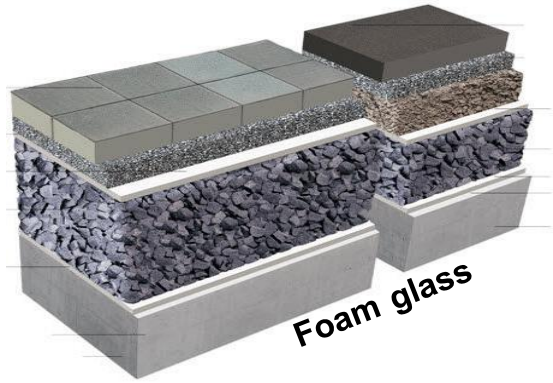
1. مواد البناء للأساس والجدران (الخرسانة والطوب والأخشاب والأنقاض وغيرها).
2. مواد الأرضيات والأسطح (البلاط ، الأردواز ، صفائح الفولاذ، القرميد ومواد مختلفة).
3. مواد الديكور والتشطيب (ورق جدران ، باركيه ،DryWall ، مزيج الجص، ألواح من الحجر الصناعي، الكوبوند كلادينغ...).
4. مواد التثبيت (المسامير ، البراغي ، الدبابيس ، البراشيم).
5. محاليل خاصة بأعمال البناء (الاسمنت ، الكلس ، ايبوكسي، الغراء ،...).
6. مواد البوليمر (البلاستيك، البولي ايتيلين، البوليستيرين والبولي كربونات).
7. المواد العازلة (نشارة الخشب ، الزجاج الرغوي ، الصوف الصخري، البيتومين).
8. مواد لبناء الطرق والرصف (الاسفلت ، الخرسانة ، حجر الرصف...)

الأردواز

الحجر الصناعي

Epoxy resin

AluCobond



البولي كربونات

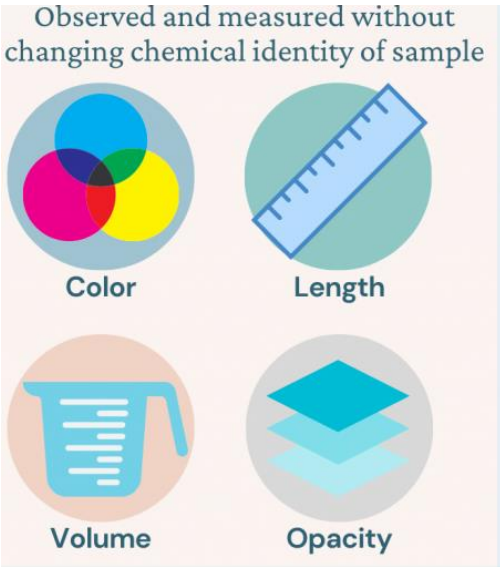
الخواص المختلفة للمواد المستخدمة في أعمال البناء والتشييد

خواص فيزيائية (طبيعية): الأبعاد، الشكل، الوزن النوعي، الكثافة، المسامية، النفاذية وغيرها

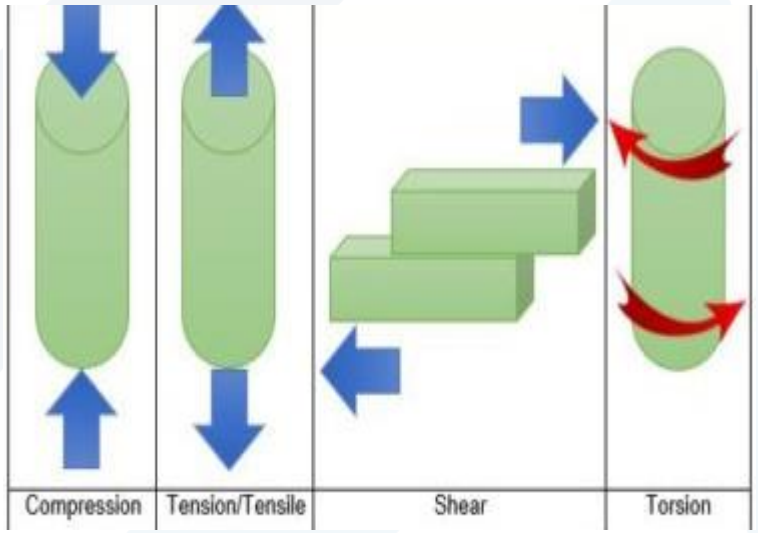
خواص كيميائية : التركيب الكيميائي، الحامضية، القلوية، مقاومة الصدأ، التغيرات الناتجة عن العوامل الجوية

خواص ميكانيكية: تختص بالتأثيرات التي تحدث في المادة عند تعرضها لأحمال ستاتيكية وديناميكية

خواص فيزيائية



خواص كيميائية



خواص ميكانيكية

خواص حرارية: التوصيل الحراري، التمدد الطولي والحجمي

من خواص الخرسانة المسلحة التوصيل السريع للحرارة مما يجعل استخدامها في بناء المباني بدون عوازل حرارية غير مريح للمستخدم.
لذا فإن عدم عزل المباني جيداً يؤدي إلى ارتفاع في معدل تشغيل الأجهزة الميكانيكية مما يؤدي إلى زيادة الأعباء المادية على الساكن.
العزل الحراري :استخدام مواد لها خواص عازلة للحرارة بحيث تساعد في تقليل تسرب وانتقال الحرارة من خارج المبنى إلى داخله صيفاً ، ومن داخله إلى خارجه شتاءً .

أفضل عازل حراري هو الهواء، لذلك فإن مهمة أي مادة عازلة هي إنشاء مايشبه طبقة هوائية ثابتة بداخل العنصر المراد عزله.، على سبيل المثال، المواد الرغوية مثل الستايروفوم تتكون من الهواء بنسبة 98٪و تعتبر من أكثر مواد العزل كفاءة.

يجب الانتباه ايضاً لتنفيذ فواصل تمدد في الخرسانة لمنع توسع التشققات تحت تأثير تغير درجة الحرارة، حيث تخضع الخرسانة للتمدد بسبب ارتفاع درجة الحرارة، فإذا كانت مقيدة الحدود فإن ذلك يؤدي إلى تشققات، ويتم توفير فواصل التمدد في الجدران الاستنادية والمباني الكتلية والجسور ومسارات السكك الحديدية.

عرض فاصل التمدد $\Delta_L = \propto_L \times \Delta_T \times L$

يجب تزويد المنشآت الكتلية الضخمة والطولية (التي تزيد أبعادها عن 45m) بفواصل تمدد (Expansion joint) لتجنب قوى التداخل والتصادم (Collision) الناتجة عن التمدد الحراري للعناصر.

كما يجب تزويد صبات الأرضيات البيتونية بفواصل كل 4 مترمربع وسطياً.

يحسب أولياً عرض فاصل التمدد بشكل تقريبي بحيث لا يقل عن القيمة المعطاة بالمعادلة التالية:

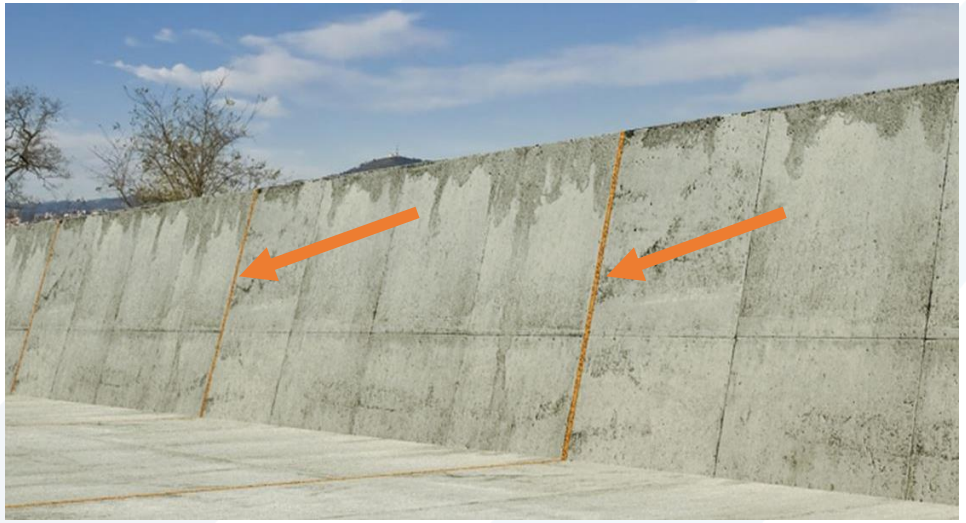
$$\mathbf{W = L \times \Delta T \times \alpha}$$

L طول العنصر البيتوني

ΔT فرق درجات الحرارة

α معامل التمدد الحراري للبيتون

($\alpha=12\times10^{-6} m/C^o$)



خواص بصرية: اللون، انكسار الضوء، امتصاص وانعكاس الضوء(Problems of Talkie-Walkie/London, Vdara hotel/LasVegas)

Sunshade cover

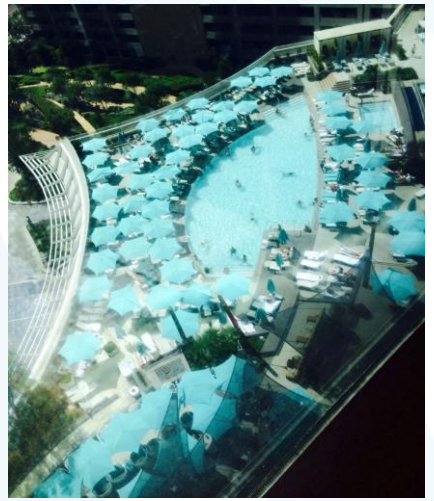
Walkie-Talkie/ London

يعمل كعدسة مقعرة عاكسة ومجمعة للحرارة

Vdara Hotel/ LasVegas

يعمل كعدسة مقعرة عاكسة ومجمعة للحرارة

لاصق مانع انعكاس للزجاج



خواص صوتية: التوصيل الصوتي، الانعكاس الصوتي

ينعكس الصوت عن السطوح المقعرة ويتجمع في بؤرة محددة، شأنه في ذلك شأن الضوء الذي ينعكس عن سطح المرآة المقعرة.

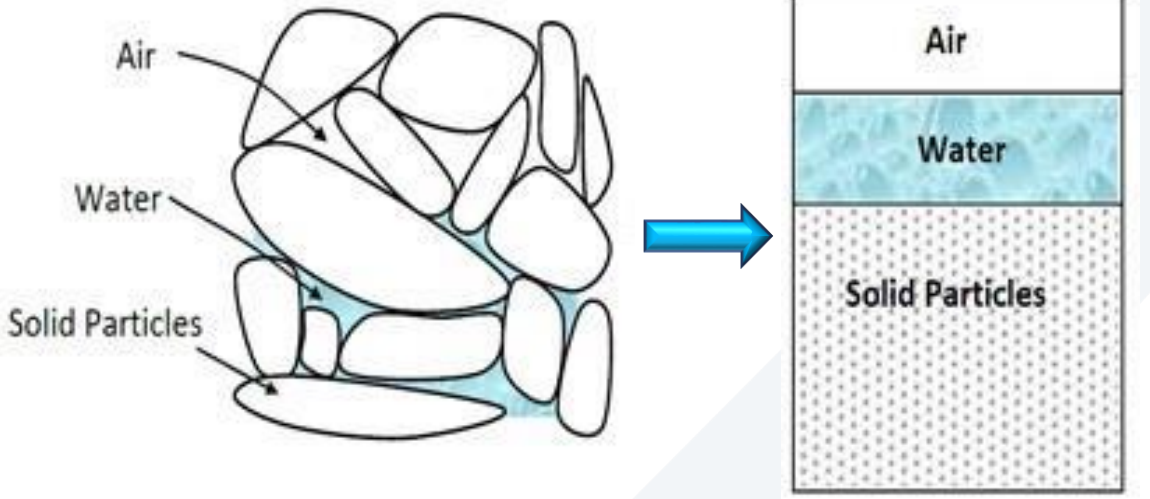
- تم الاستفادة من هذه الظاهرة في مساجد عديدة كقبة الصدى في مسجد أصفهان القديم، العادلية في حلب، وبعض مساجد بغداد القديمة. كان يصمم سقف المسجد وجدرانه على شكل سطوح مقعرة موزعة في زوايا المسجد وأركانه بطريقة دقيقة تضمن توزيع الصوت بانتظام على جميع الأرجاء.

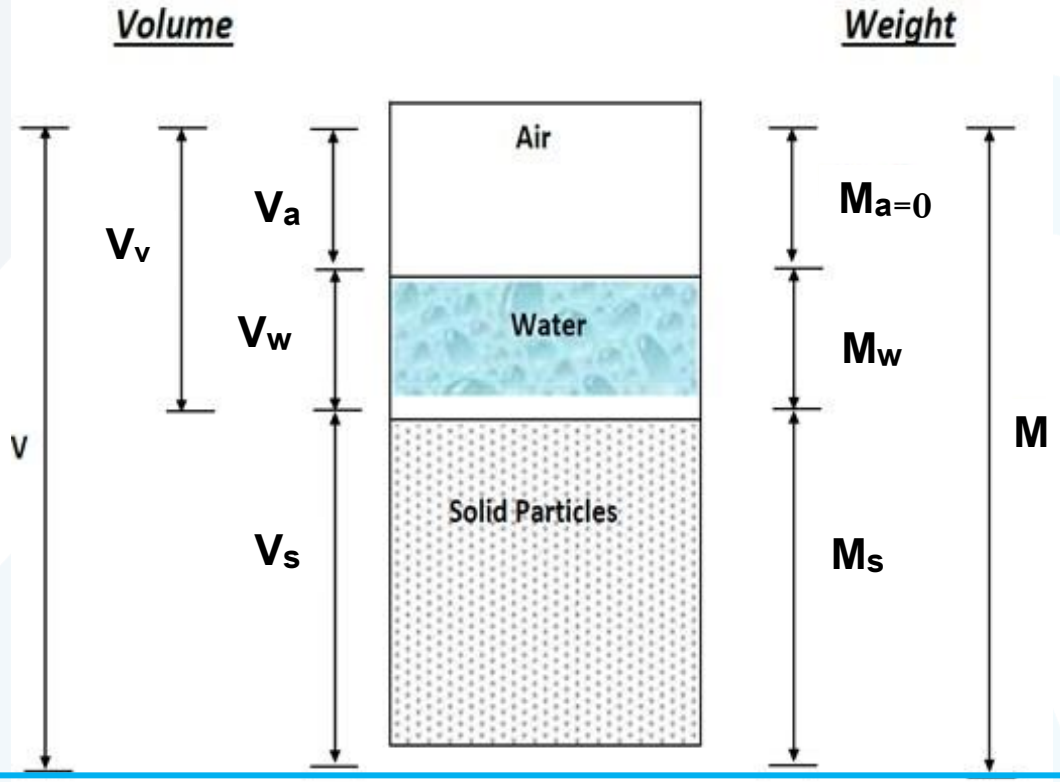
- حالياً مع تقدم التكنولوجيا، يمكن تحسين الحالة الصوتية في القاعات باستخدام ألواح من مواد ماصة للطاقة الصوتية مثل "الفلين" و "الجبس" ونسيج "الألياف الزجاجية" وتوضع هذه الألواح في أماكن معينة على السقف والجدران بغرض تقليل صدى الصوت أو التخلص منه.

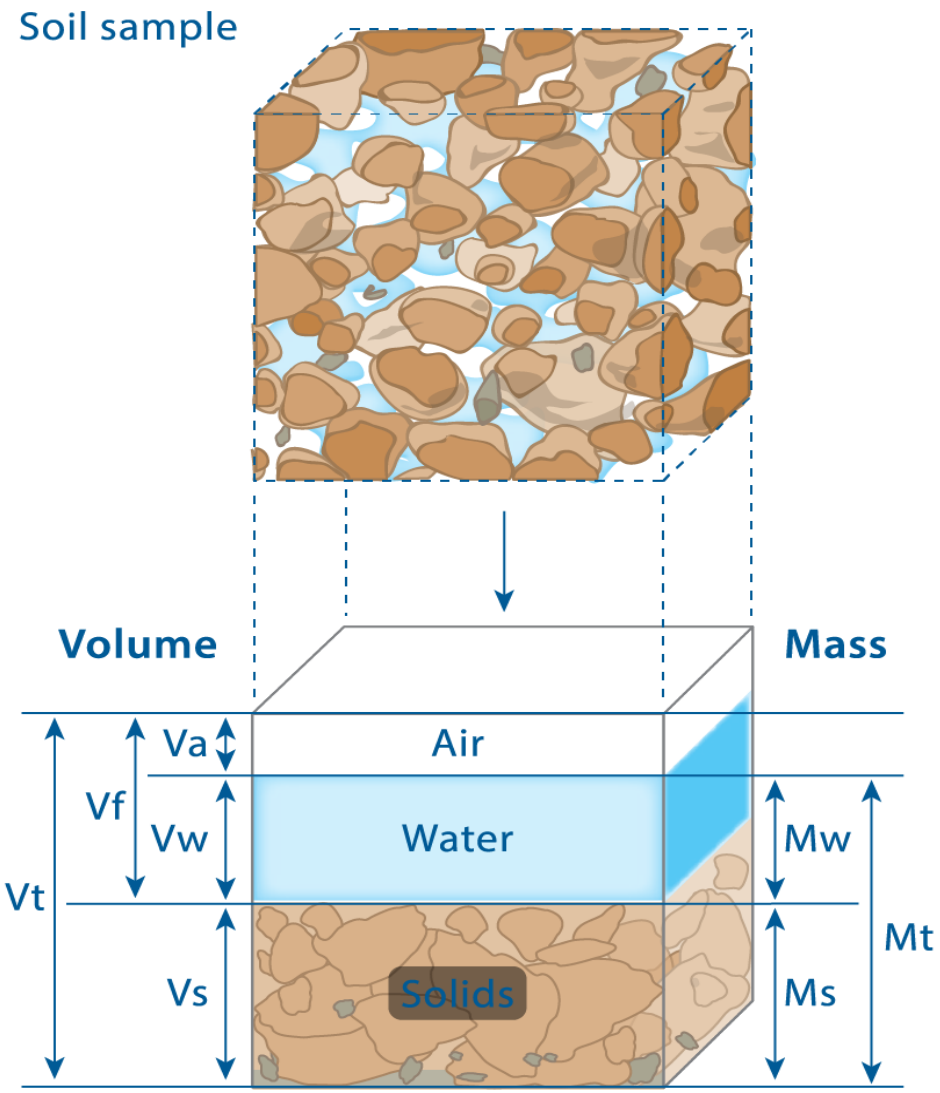
خواص فيزيائية (طبيعية):

يتم عادة تحديد الخصائص الفيزيائية للمادة بمعرفة الوزن والحجم والبنية النسيجية.

- من أجل إيجاد الخواص الفيزيائية للمادة يتم عادة تبسيط التركيب المعقد (الحبيبات الصلبة والماء والهواء) إلى شكل منتظم يكون الهواء في الأعلى ثم يليه الماء ومن ثم الحبيبات الصلبة وكما بالشكل أدناه.







V_a : حجم الهواء

V_w: حجم الماء

V_s: حجم الجزئيات الصلبة

الحجم الكلي للمادة: $V=V_a+V_w+V_s$

M_a : وزن الهواء ويساوي صفر

M_w: وزن الماء

M_s: وزن الحبيبات الصلدة، يعبر عنه أحياناً بـ W_d: الوزن الجاف للصخرة

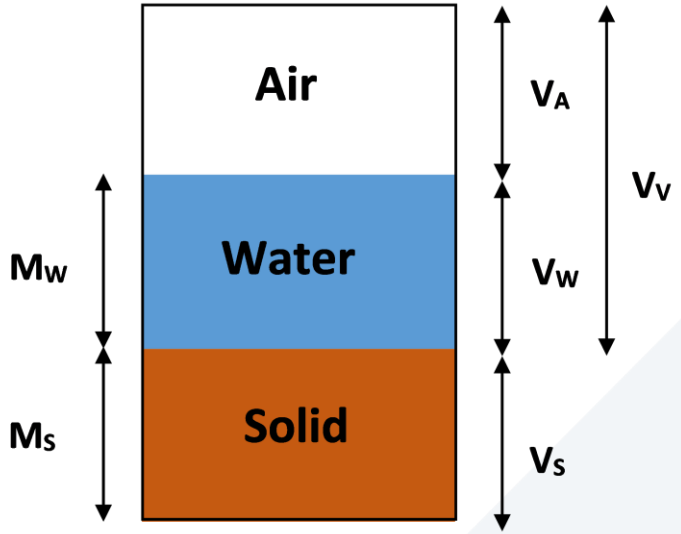
الوزن الكلي للمادة: $M= M_s + M_w$

1- المحتوى المائي/ الرطوبة (Water Content):

تتكون المواد من حبيبات صلبة (منيرالات) وفراغات بين هذه المنيرالات، وقد تكون هذه الفراغات معبأة جزئياً أو كلياً بالمياه.

في بعض أنواع المواد كالصخور والخشب من المهم والمفيد معرفة وجود المياه في فراغاتها لتحديد **درجة طراوتها**. حيث قد تؤدي هذه المياه إلى انخفاض مقاومة المادة وديمومتها.

- ✓ في الصخور المفككة الرملية كذلك البيتون الضعيف تؤثر درجة الإشباع على مقاومة هذه الصخور للقوى الخارجية
- ✓ في الصخور الصماء المتماسكة مثل الرخام والغرانيت يكون حجم الفراغات على درجة من الصغر بحيث حتى ولو كانت معبأة كلياً بالمياه فهي ليست بذات أهمية من الناحية العملية.

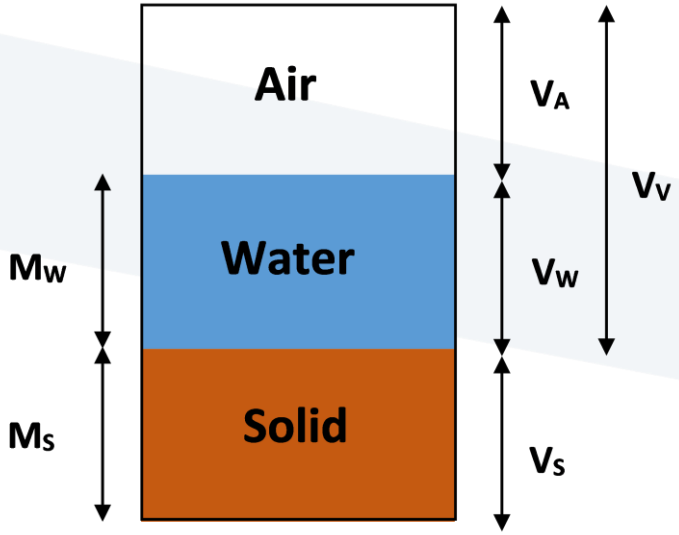


يعبر المحتوى المائي رياضياً عن النسبة بين:

وزن الماء الموجود داخل فجوات المادة إلى وزن المادة الصلبة Ms (الجافة Md):

$$W = \frac{\boldsymbol{Mw}}{\boldsymbol{Ms}} = \frac{\boldsymbol{M - Md}}{\boldsymbol{Md}} \times \mathbf{100}$$

درجة التشبع (Degree of Saturation) (Sr) :



النسبة بين حجم الماء في المادة إلى حجم الفراغات:

$$Sr = \frac{Vw}{Vv} \times 100 \qquad S_r = \frac{w \times G_s}{e}$$

عندما تكون المادة ذات فجوات مملوءة تماماً بالماء يكون حجم الماء يساوي حجم الفراغات وبالتالي فإن درجة التشبع تكون 100% والمادة مشبعة وهذه الحالة نادرة الحصول في الصخور.

- عندما تكون فراغات المادة مملوءة بالهواء فقط فيكون حجم الماء يساوي صفر و بالتالي فإن درجة التشبع تساوي صفر والمادة تعتبر جافة.

- عندما تكون فراغات المادة مملوءة بالهواء و الماء فدرجة التشبع تتغير من 0 إلى 100% والمادة مشبعة جزئياً.

2- مسامية المادة (Porosity): مهما كان نوع المادة وحالتها من حيث الصلابة والتماسك فإن الجزء الصلب المكون لها يحتوي على فراغات. تعرف المسامية بأنها نسبة حجم الفراغات (الفجوات) إلى الحجم الكلي للمادة، ويرمز للمسامية بالرمز n.

تعتمد مسامية المادة على عدة عوامل منها أحجام الحبيبات الصلبة و ترتيبها.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

نسبة الفراغات (Void Ratio): هو نسبة حجم الفراغات إلى حجم المكونات الصلبة في نفس العينة

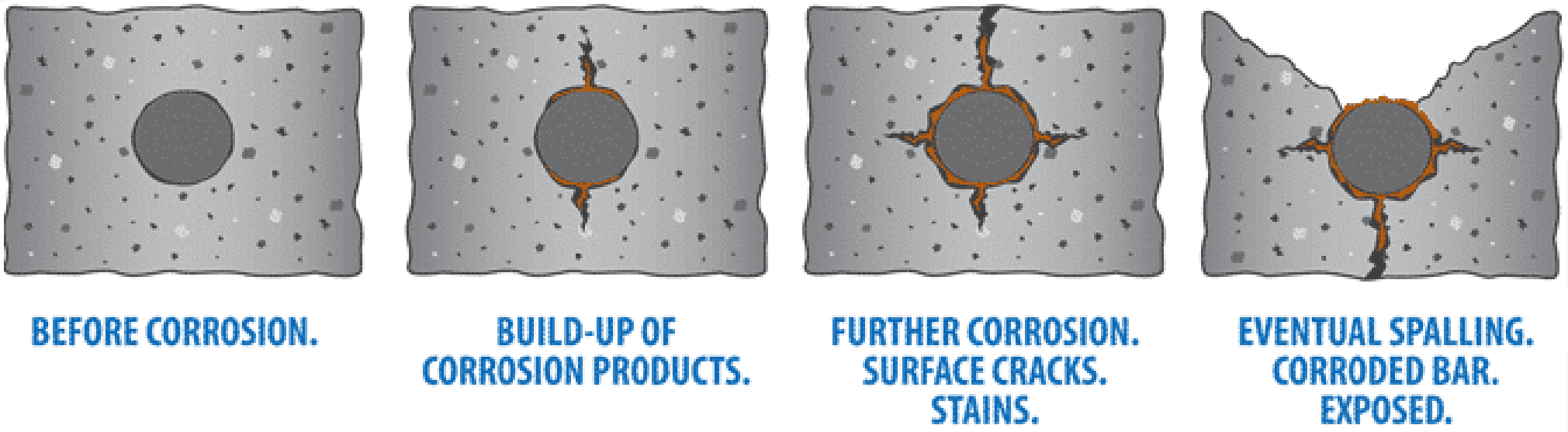
$$e = \frac{V_v}{Vs}$$

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

Type of rock	Porosity [-]
Gravel	0.25–0.30
Sand	0.36–0.45
Clayey sand	0.45–0.49
Granite	0.0005–0.0090
Basalt	0.006–0.013
Limestone	0.006–0.169

للمسامية دور هام في تقييم جودة المواد:

توضح الصورة بالأسفل تأثير **مسامية** البيتون وعدم كفاية طبقة التغطية على فولاذ التسليح وبالتالي الأثر السلبي على أمان المنشأ



The corrosion cycle of steel begins with the rust expanding on the surface of the bar and causing cracking near the steel/concrete interface. As time marches on, the corrosion products build up and cause more extensive cracking until the concrete breaks away from the bar, eventually causing spalling.

3- كثافة المادة (material Density):

تعرف الكثافة بشكل عام بأنها كتلة واحدة الحجوم من المادة، ويمكن التعبير عن الكثافة بأنها الوزن في الهواء لكل وحدة حجم واحدة في درجة حرارة معينة؛ لأن وزن الأجسام يتغير من مكان لآخر تبعاً لقيمة الجاذبية الأرضية ودرجة الحرارة.

الوحدة القياسيّة لكثافة الصخور هي الكيلوغرام لكل متر مكعب (kg/m^3)، كما تختلف الكثافة بشكل كبير بين أنواع الصخور والمواد المختلفة بسبب الاختلافات في بنية المادة والمسامية.

Material	Density (kg/m^3)
الخرسانة concrete	2300
Asphalt conc.	2400
Bricks	1900
Cement	1400
Clay (wet)	2080
Cement mortar	1440
الخرسانة المسلحة Concrete (reinforced)	2400
Gypsum	1200
Sand	1650
Concrete Blocks	1400
Gravel	1800
الفولاذ Steel	7850
Wood(average)	400-700
Water	1000

تقسم الكثافة إلى عدة أنواع:

a)-كثافة المادة الكلية (γ) النسبة بين وزن المادة الكلي (الوزن الصلد+ وزن الماء الموجود بالفجوات) إلى حجم المادة الكلي

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

b)- كثافة المادة الجافة :(γd) النسبة بين وزن المادة جافة (الوزن الصلد) إلى حجم المادة الكلي :

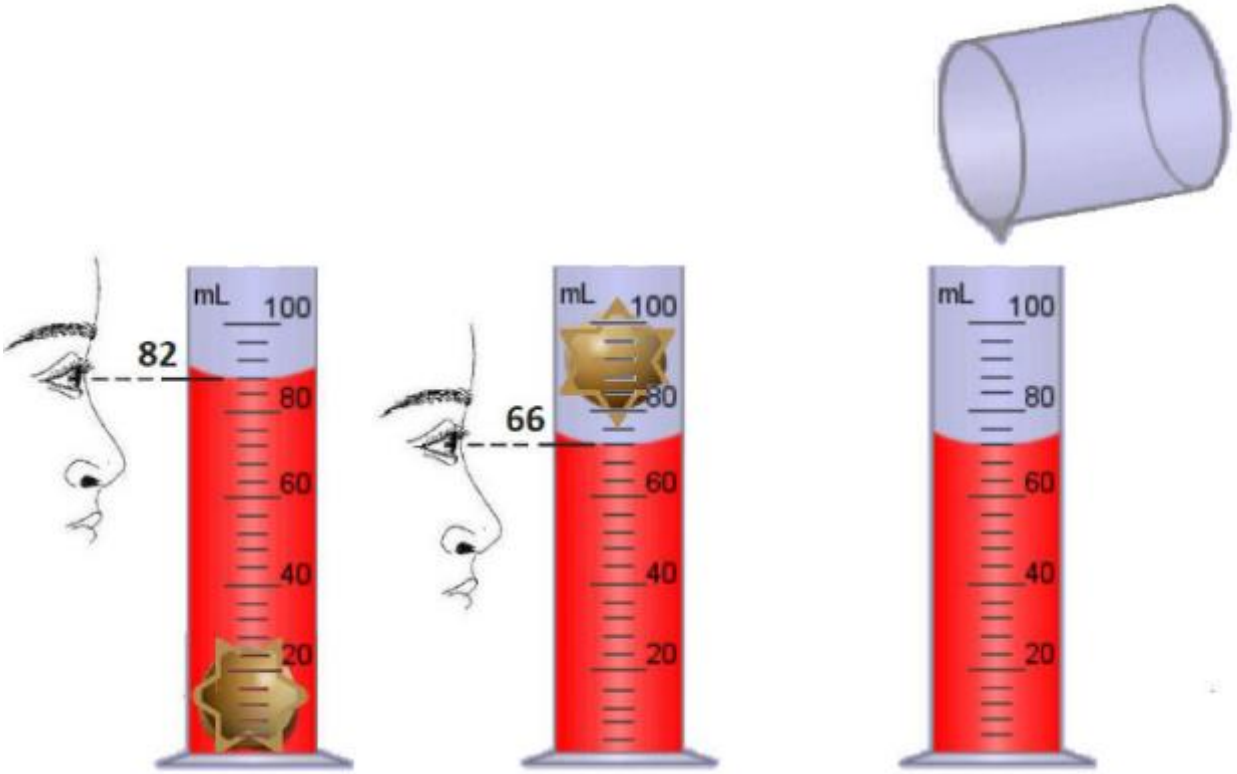
$$\gamma d = \frac{Md}{V}$$

c)- كثافة الحبيبات الصلبة الموجودة بالمادة(γs) : النسبة بين وزن المادة جافة (الوزن الصلب) إلى حجم الحبيبات الصلبة:

$$\gamma s = \frac{Md}{Vs}$$

لمعرفة الوزن نستخدم ميزان حساس، أما لمعرفة الحجم فنعتمد مبدأ دافعة أرخميدس وفق الآتي:

- قم بقياس حجم السائل في المختبر بمحاذة العين في المستوى الأفقي للسطح الهلالي (V_{L1})
- ضع الشكل المعدني داخل المخبار المدرج وسجل الارتفاع الجديد للسائل (V_{L2})
- احسب الفارق بين الحجمين $(V_{L1} - V_{L2})$ ويكون هو حجم الشكل الغير منتظم



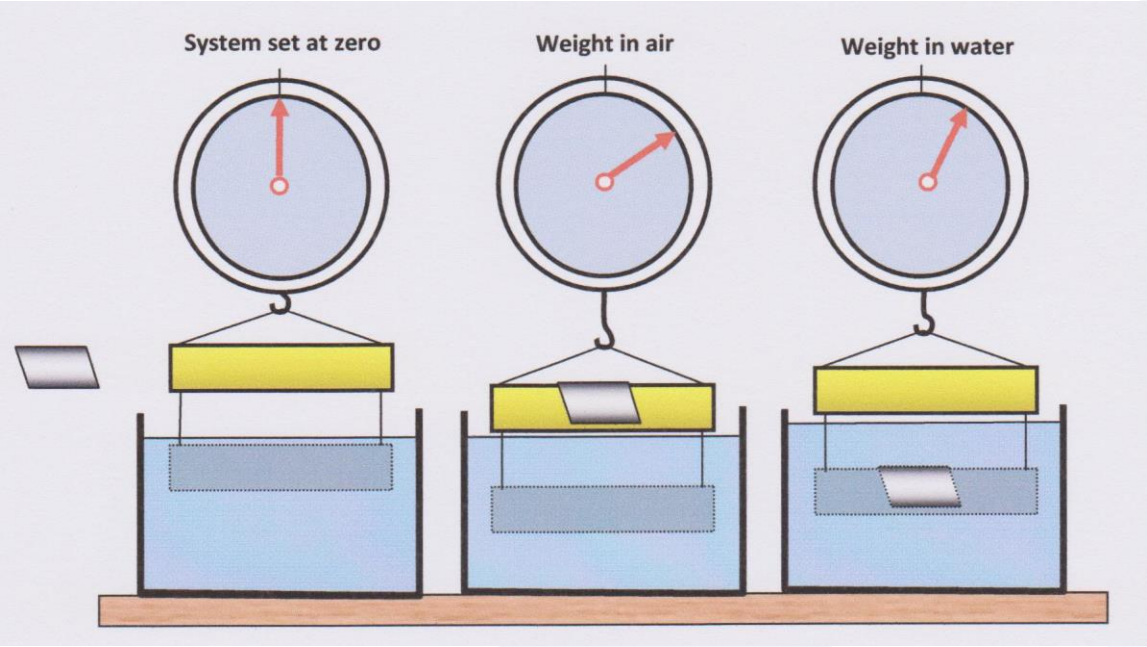
١. قم بوزن العينات المعدنية على ميزان دقيق بالجرام

٢. احسب كثافة المادة بالمعادلة ← كثافة المادة = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$ (كجم/م٣)

٣. احسب الكثافة النوعية للعينات بالمعادلة ← الكثافة النوعية = $\frac{\text{كثافة المادة}}{\text{كثافة الماء}}$

4- الوزن النوعي (Specific Gravity, Gs) : النسبة بين وزن الحبيبات الصلبة للمادة (جافة) إلى وزن ماء ذي حجم مساو لحجم الحبيبات الصلبة للصخرة. بمعنى آخر هو النسبة بين كثافة الصخرة الصلبة γ_s إلى كثافة الماء γ_w وكما بالمعادلة:

$$Gs = \frac{\gamma s}{\gamma w}$$



$$G_S = \frac{M(air)}{[M(air) - M(water)]}$$

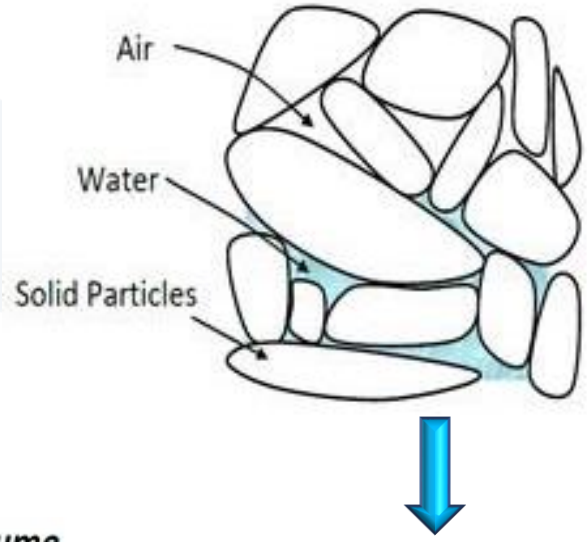
- تصنف المعادن التي كثافتها النوعية اقل من ٢,٣ على أنها معادن خفيفة Light، وتلك التي بين ٢,٣ إلى ٤,٥ تصنف على أنها معادن متوسطة الكثافة، أما التي تفوق كثافاتها فوق ٤,٥ فإنها تصنف على أنها معادن ثقيلة.
- تغطس أي مادة في الماء إذا كانت كثافاتها اثقل من كثافة الماء أما المواد التي كثافتها اقل من كثافة الماء فإنها تطفو فوق سطح الماء.

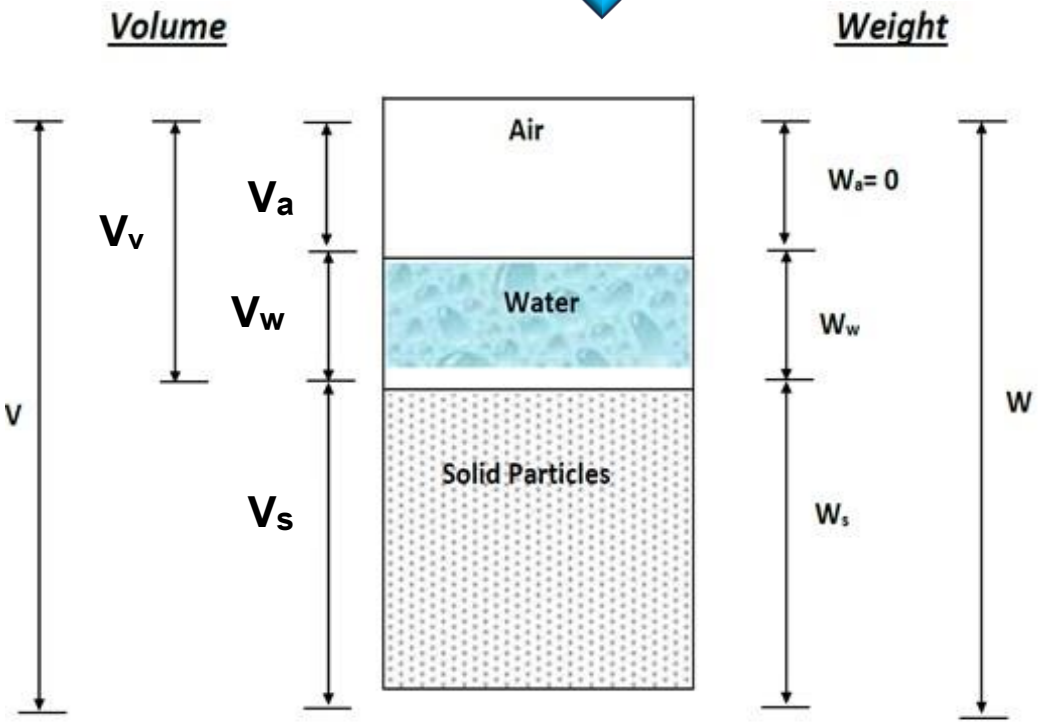
5- النفاذية (permeability):

هي خاصية المواد بالسماح للمياه بالحركة ضمنها، وتحدد من خلال وجود المسامات المتصلة مع بعضها البعض في الصخور الحبيبية والشقوق في الخرسانة ومواد البناء الأخرى. يعبر عن درجة نفاذية الصخور بعامل النفاذية (Permeability coefficient) وهو عبارة عن كمية المياه الراشحة باللتر خلال فترة زمنية محددة. وتقسم الصخور وفقاً لدرجة نفاذيتها إلى مجموعات كما هو مبين بالجدول التالي:

الأكثر نفاذية

درجة النفاذية	عامل النفاذية لتر/يوم
جيدة النفاذية(حصى، رمال خشنه، الصخور الكتلية الشديدة التشقق...)	>10
نفوذه(الرمال، الصخور المتشققة)	1-10
ضعيفة النفاذية(المارل، الصخور الرملية، السيلت.....)	0.01-1
ضعيفة النفاذية جداً (الصخور الرملية الغضارية، سيلت، ...)	0.001-0.01
كتيمة (الغضار، الصخور الكتلية الخالية من الشقوق)	<0.001





درجة الاشباع $Sr=\frac{V_w}{V_v}$

المسامية $n=\frac{V_v}{V}$

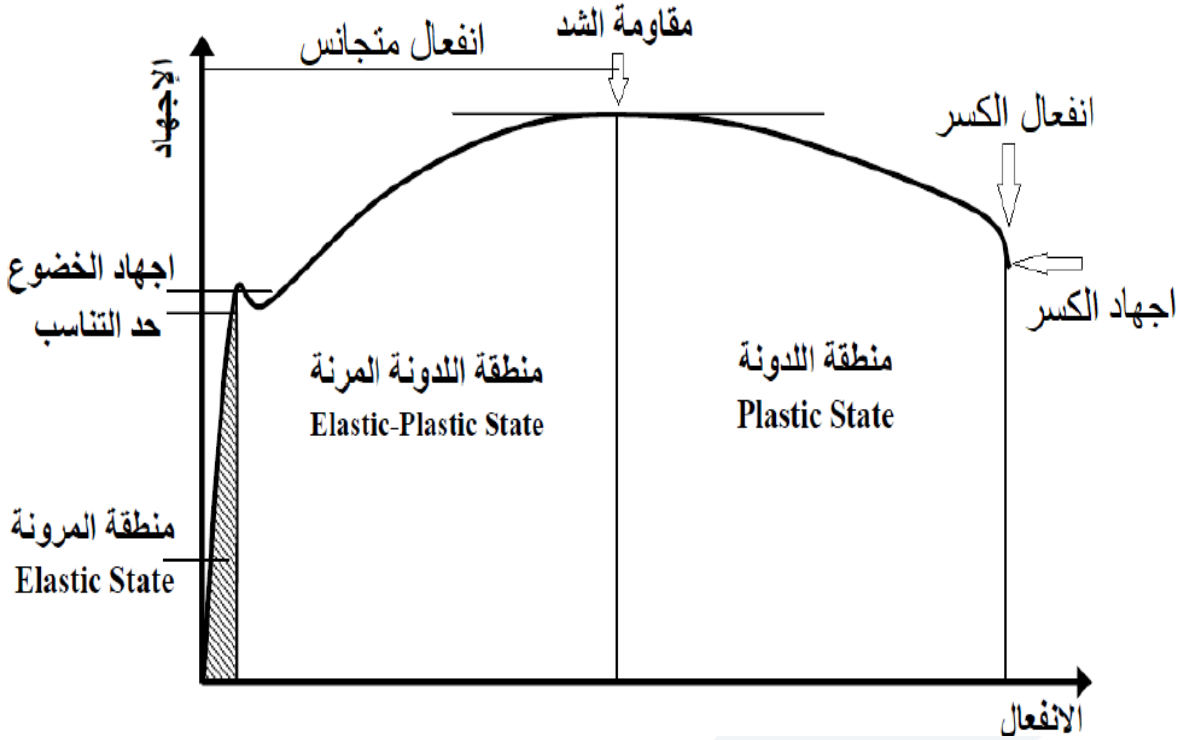
نسبة الفراغات $e=\frac{V_v}{V_s}$

الرطوبة/ المحتوى المائي: $w=\frac{M_w}{M_s}$

كثافة صلبة	كثافة جافة	كثافة كلية
$\frac{M_s}{V_s}$	$\frac{M_s}{V}$	$\frac{M}{V}$

سلوك المواد

يعبر سلوك المادة عن كيفية استجابة أو تصرف المادة عندما نطبق عليها قوة خارجية :ضغط، شد، انعطاف، قص. فالمواد إما ان تكون ثابتة الخواص، أو غير ثابتة الخواص، وذلك اعتمادا على سلوكها تحت الحمولة.



عند تطبيق القوة تمر المادة بعدة مراحل:

1-المرونة: عندما تتعرض أي مادة أو عنصر إنشائي إلى قوة ما فإن الجسم يتغير شكله وعند إزالة أو حذف القوة عن هذا العنصر يعود لوضعه الطبيعي.

العلاقة في هذه المرحلة بين الاجهاد والتشوه علاقة خطية.

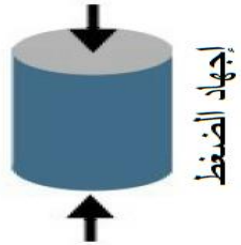
2- اللدونة: بازدياد قيمة القوة المطبقة على أي عنصر إنشائي، وعند إزالة هذه القوة عنه فإن العنصر لا يعود إلى وضعه الأصلي بل يحدث فيه تشوه ثابت.

3- الانكسار: عند تخطي مرحلة اللدونة نحصل على ما يسمى بالانكسار أو الانقطاع.

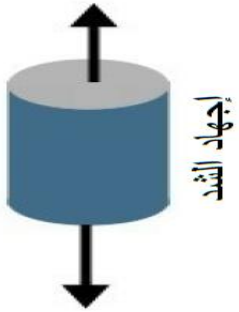
بشكل عام تمر معظم المواد بهذه المراحل عندما تتعرض لقوى الحمولات، لكن في كل التصميمات الأمينة يراعى عدم تخطي مرحلة المرونة.

الخواص الميكانيكية للمواد: (Mechanical Properties for materials)

الإجهاد، المرونة، اللدونة، الممطولية، القصافة

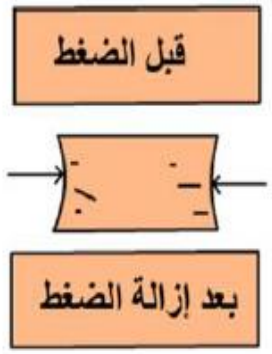


1- الإجهاد (stress): هو القوة المطبقة على واحدة السطح من المادة (الإجهاد= القوة/المساحة) ويعبر عن مقدار انتشار القوى ضمن سطح العينة.

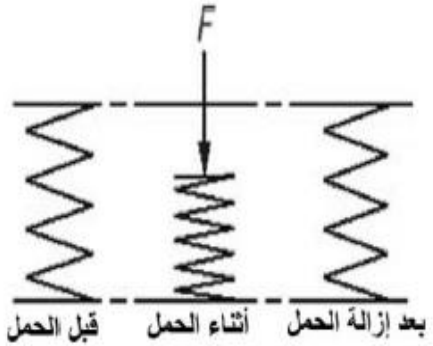


وتوجد أنواع مختلفة من الإجهادات مثل إجهاد الضغط ويحدث عندما تكون الحمولة أو القوى ضاغطة، وإجهاد الشد عندما تتعرض المادة لقوى سحب أو شد.

2- المرونة (elasticity): تعبر عن قدرة المادة على استعادة شكلها الأصلي، وأبعادها الأصلية بعد إزالة القوى المؤثرة عليها.



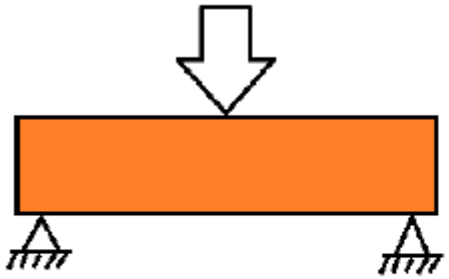
مادة مطاط



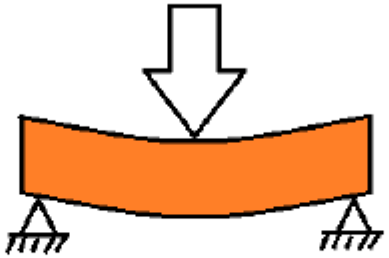
يای معدنی

3- اللدونة (plasticity):

تعبر عن قدرة المادة على الاحتفاظ بشكلها الدائم بعد حدوث التشوه الناتج عن القوى المؤثرة عليها، لذلك فاللدونة نسبياً عكس المرونة، كما أنه ليست هناك مادة مرنة تماماً أو لدنة تماماً. فبعض المواد مثل المطاط لها مرونة عالية ولدونة منخفضة نسبياً، كما أن هناك مواد لها مرونة أقل في حدود معينة من القوى المطبقة وبعدها تصبح لدنة لدرجة ما ومن أمثلة ذلك حديد التسليح و الرصاص.



بداية تأثير الحمل

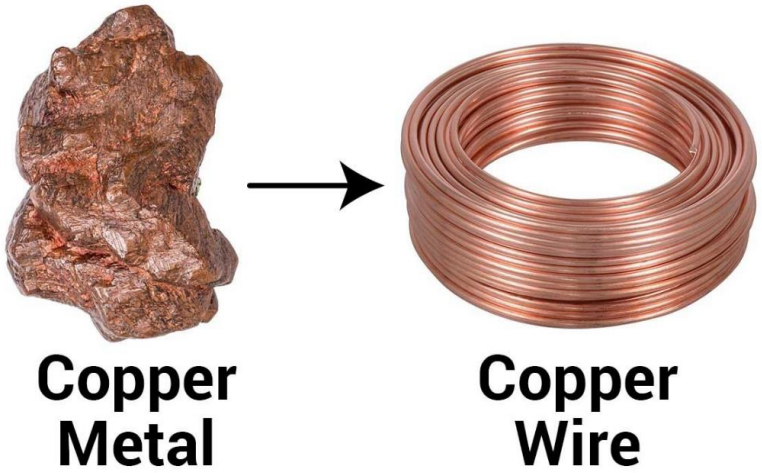


حدوث إزاحة أثناء تأثير الحمل

استمرار وجود الإزاحة حتى بعد الحمل إزاحة

4- المطولية/ القابلية للسحب (Ductility): تعبر عن قابلية المادة للاستطالة عند شدها، وتقاس هذه الخاصية بمقدار الزيادة في طول العينة أو النقص في مساحة مقطعها (عند التشكيل بالطرق مثلاً للذهب والفضة)

كما يمكن تعريفها بأنها قدرة المادة على السحب وقابليتها للاستطالة الكبيرة عند تعرضها لحمولة شد.



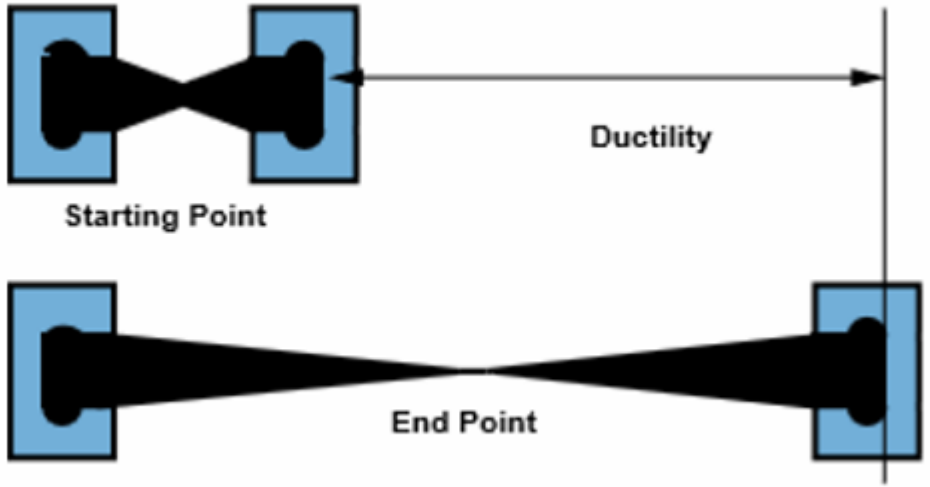


Figure 23:2: Ductility Test

5- القصافة أو الهشاشة (Brittleness): تعبر عن قابلية المادة للكسر عند تعرضها لقوى خارجية دون أي تشوهات ملحوظة سابقة للكسر. بمعنى آخر هي الخاصية التي تجعل المادة تنكسر قبل أي تغير ملحوظ في الشكل مثل الزجاج.

يمكن القول أن القصافة عكس الممطولية فالمواد المطيلية لها تشوهات لدنة كبيرة عند تعرضها للحمولات مثل النحاس، أما المواد القصفة فتنكسر قبل أن يطرأ عليها أي تغيير في الشكل عند التحميل مثل الزجاج والحديد الزهر وكذلك الخرسانة العادية.

انكسار قضيب من الحديد الزهر

القوانين الرياضية الأساسية

توضح العلاقات التالية المتغيرات الأساسية التي تتحكم في أداء المادة:

١. الإجهاد (σ) هو حاصل قسمة القوة العمودية (F) على مساحة مقطع العينة الأصلي (A_o).

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \quad N/m^2$$

٢. الإجهاد الحقيقي (σ_{tr}) هو حاصل قسمة القوى العمودية (F) على مساحة مقطع العينة اللحظية (A_i) أي المساحة المحسوبة لحظة قراءة القوة.

$$\sigma_{tr} = \frac{F}{A_i} \quad N/m^2$$

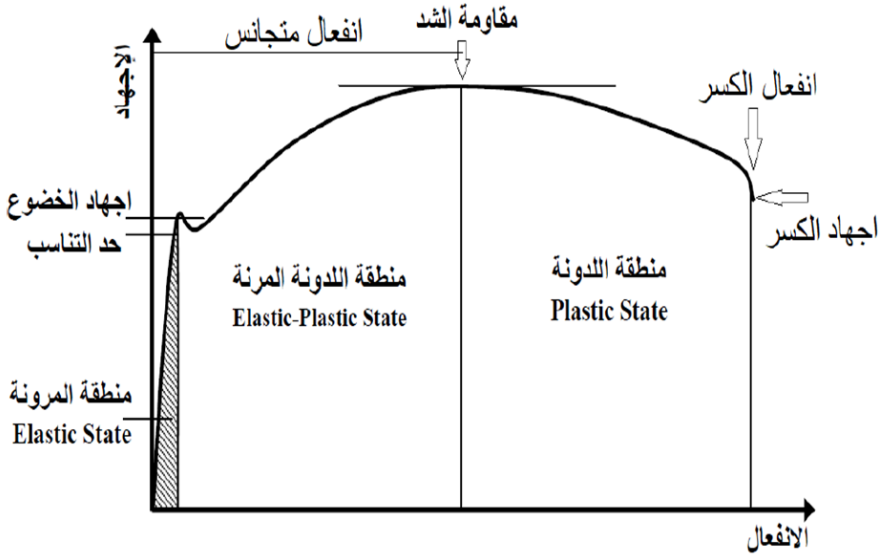
٣. **التشوه** (ε) هو حاصل قسمة التشكيل (الإستطالة أو التقلص) (ΔL) الحاصلة للعينة على الطول الأصلي للعينة (L_o) **نسبة تغير الطول إلى الطول الأصلي**

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

حيث L_o هو الطول الأصلى للعينة & L_f هو الطول النهائى للعينة

معامل المرونة (E): هو النسبة بين الإجهاد و **التشوه** ويسمى معامل يونج Young's modulus E. وبما أن ' **التشوه** ' بدون وحدة ووحدة "الإجهاد" هي باسكال Pa وبالتالي تكون وحدة "معامل المرونة أو معامل يونج Young's modulus" E هي Pa.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad N/\ m^2$$



إجهاد الخضوع (σ_Y): وهو الإجهاد الذي يحدث عنده زيادة ملحوظة في الاستطالة بدون زيادة في الحمل أي أن التشوه يزداد بدون زيادة في الإجهاد. وفى هذه النقطة يتم عندها التحول من الانفعال المرن إلى الانفعال اللدن أي نستطيع أن نلخصها بأنها حالة نهاية المرونة وبداية اللدونة للمعدن. في الواقع إجهاد الخضوع ليس بنقطة بل هو منطقة.

المقاومات الميكانيكية للمواد: (Mechanical Properties for materials)

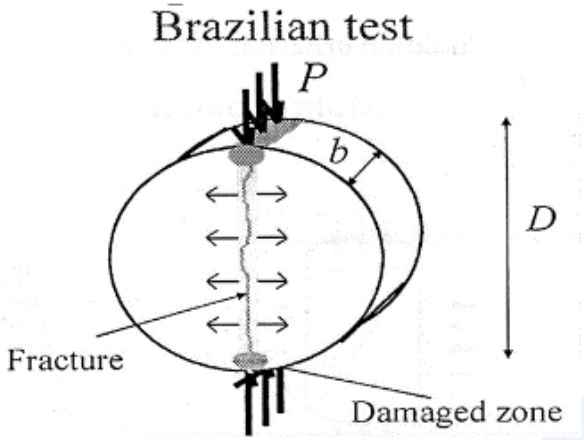
a- مقاومة الشد للمواد (σ_t) Tensile Strength of materials

تختلف مقاومة الشد للمواد بدرجة كبيرة حيث أن مقاومة الشد للعينات الصخرية والبيتون ضعيفة ويتم تحديدها عن طريق تجارب مخبرية:

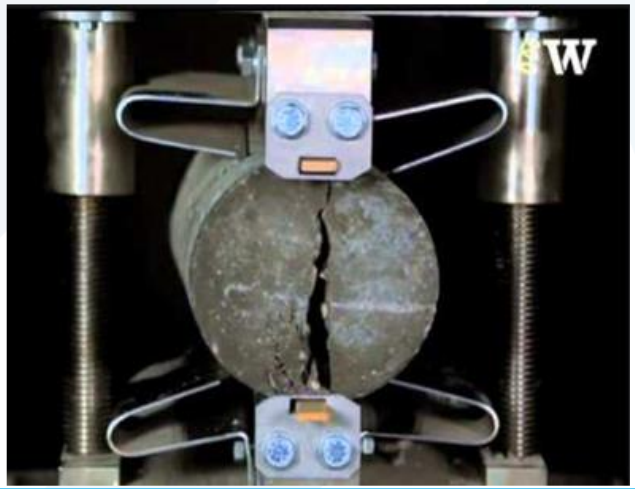
- **التجربة البرازيلية Brazilian Test:** الاختبار البرازيلي هو اختبار معملي يتم إجراؤه في ميكانيك المواد والصخور لتحديد قوة الشد للمواد المختلفة.

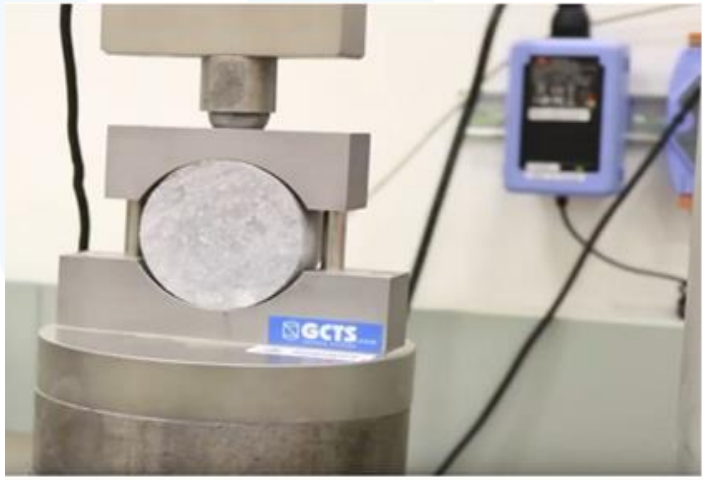
يتم إجراء الاختبار البرازيلي على عينات اسطوانية منتقاة بعناية يتم قطعها وتنعيمها. لا يقل قطر العينة عن 5cm بينما يجب أن يكون سمكها يساوي تقريبًا نصف القطر. يؤثر محتوى الماء بشكل طفيف على نتائج الاختبار البرازيلي؛ لذلك يوصى بالحفاظ على العينات واختبارها بناءً على رطوبة الحقل.

يتم تطبيق حمولة ضغط كما هو موضح بالشكل حتى الانهيار على عينات اسطوانية



$$\sigma_t = \frac{2p}{\pi DL}$$



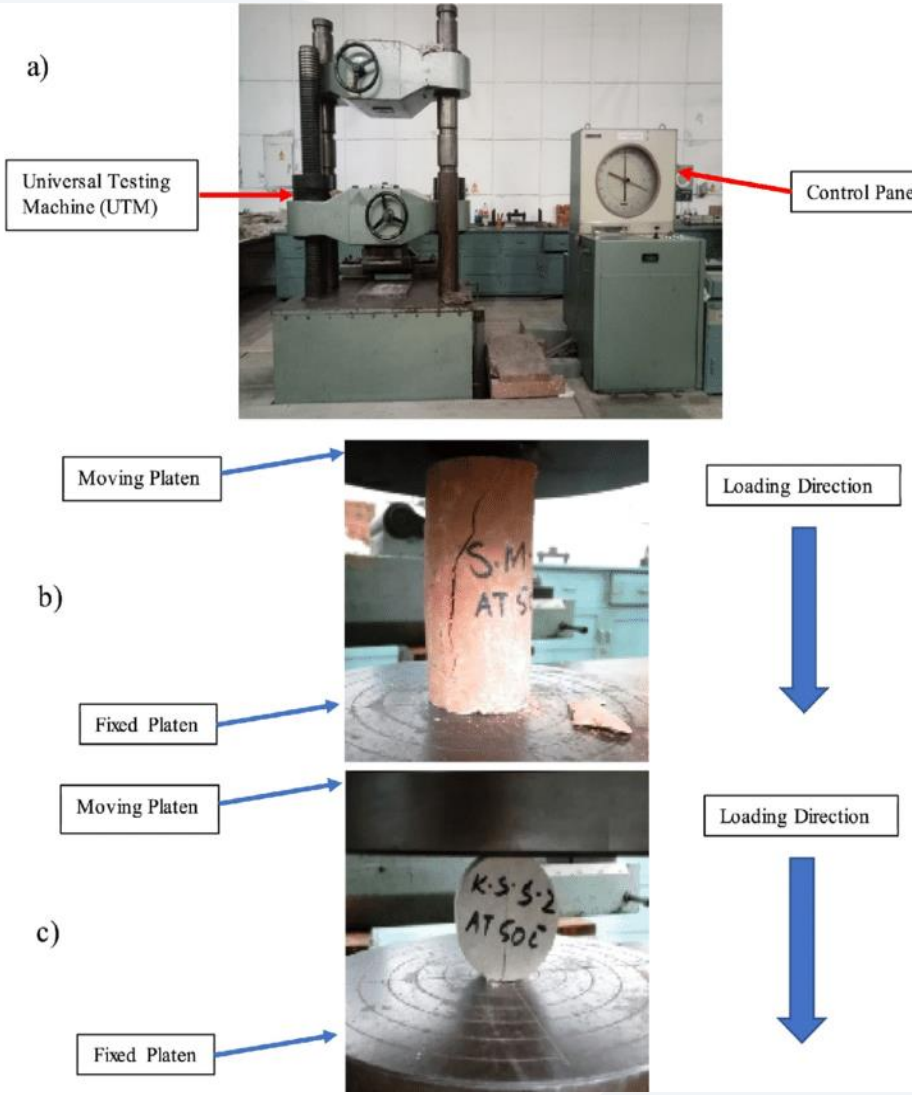


b- مقاومة الضغط للعينات الصلبة Compressive strength (σc=UCS)

اختبار الضغط الحر: مشابه لاختبار المكعبات البيتونية.

قطر الأسطوانة 15cm عموماً وارتفاعها 30cm. (توضع العينة شاقولياً أسفل المكبس)

$$\text{مقاومة الضغط } \sigma_c = \frac{p}{\pi \times r^2}$$



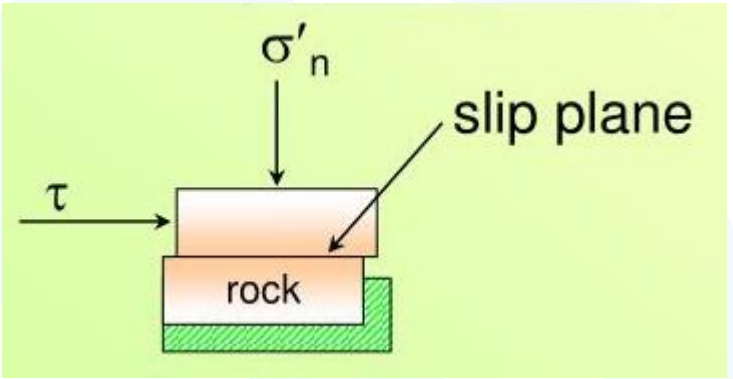
c- مقاومة القص للعينات (Shear strength of specimen):

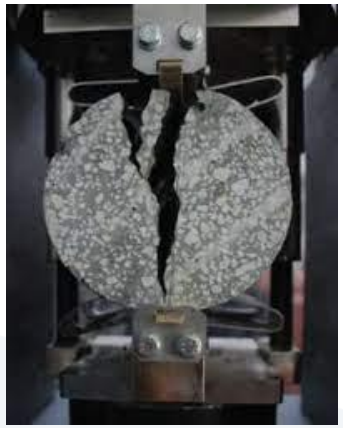
تحدد قيمة القص للعينات الصخرية بخاصيتين:

- زاوية الاحتكاك الداخلية ((Internal Friction Angle) (ϕ)

-التماسك (Cohesion) (C)

يتم تحديد مقاومة القص للعينات الصخرية عن طريق تجربة ضغط ثلاثي المحاور





مقاومة الشد

مقاومة الضغط

Rock	Tensile Strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)
Limestone (الصخر الكلسي)	18.00 ± 0.62 (20)	41.45 ± 3.52 (4)
Sandstone (الصخر الرملي)	19.17 ± 0.21 (23)	77.59 ± 1.59 (5)
Sandstone	23.10 ± 0.48 (19)	80.83 ± 2.21 (10)
Sandstone	24.21 ± 0.83 (8)	90.48 ± 3.86 (4)
Mudstone (الصخر الطيني)	35.17 ± 3.17 (4)	50.07 ± 3.79 (4)
Concrete (البيتون)	1.69	23.40
	2.14	27.80
	2.35	31.90

أسئلة عامة عن المحاضرة

من مواد البناء الطبيعية؟			
البوليميرات	الصخور	البلاستيك	الزجاج الرغوي
ساد استخدام الخرسانة المسلحة والمعادن في صناعة البناء اعتباراً من القرن:			
العاشر	الخامس عشر	السابع عشر	العشرين
مادة بناء شائعة الاستخدام في أعمال الديكور:			
البيتومين	الصوف المعدني	ألواح الحجر الصناعي	البلاط
مادة بناء تستخدم في أعمال العزل الحراري:			
الاسمنت	صفائح الفولاذ	الاسفلت	نشارة الخشب

في سلوك المواد تسمى مرحلة التحميل المتوافقة مع عودة شكل العنصر لوضعه الطبيعي بعد إزالة القوة بـ؟			
مرحلة اللدونة	مرحلة الخضوع	مرحلة المرونة	الانكسار
من بين المواد الآتية فإن المادة الأكثر نفاذية هي:			
الصخور الغضارية	الحصى	الرخام	الغرانيت
من الخواص الفيزيائية للمواد:			
مقاومة الضغط	التوصيل الحراري	الوزن النوعي	المرونة
تسمى النسبة بين وزن الماء الموجود في العينة إلى وزن العينة الجاف بـ:			
درجة التشبع	المحتوى المائي	الكثافة	السيولة

تسمى النسبة بين حجم الفراغات إلى الحجم الكلي للمادة بـ:			
نسبة الفراغات	النفاذية	المحتوى الفراغي	المسامية
حدد الإجابة الخاطئة: تصنف ضمن الخصائص الميكانيكية للمواد:			
الممطولية	مقاومة الشد	الكثافة	القصافة (الهشاشة)
حدد الإجابة الخاطئة: من مواد البناء الشائعة التي استخدمها الانسان منذ آلاف السنين:			
الحجر	الاسمنت البورتلاندي	الخشب	الطوب

يستخدم الاختبار البرازيلي على العينات البيتونية لحساب مقاومة :			
الضغط	الشد	القص	الفتل
عند وصف إجهاد الخضوع تعد جميع المعلومات الآتية صحيحة ماعدا:			
يستمر عنده التشوه دون زيادة الحمولة	يعبر عن حالة نهاية المرونة وبداية اللدونة	يقدر عموماً بالباسكال	يعد من الخواص الفيزيائية