Manara University
Faculty of Engineering
Department of civil engineering

جامعة المنارة
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

مقرر مواد بناء

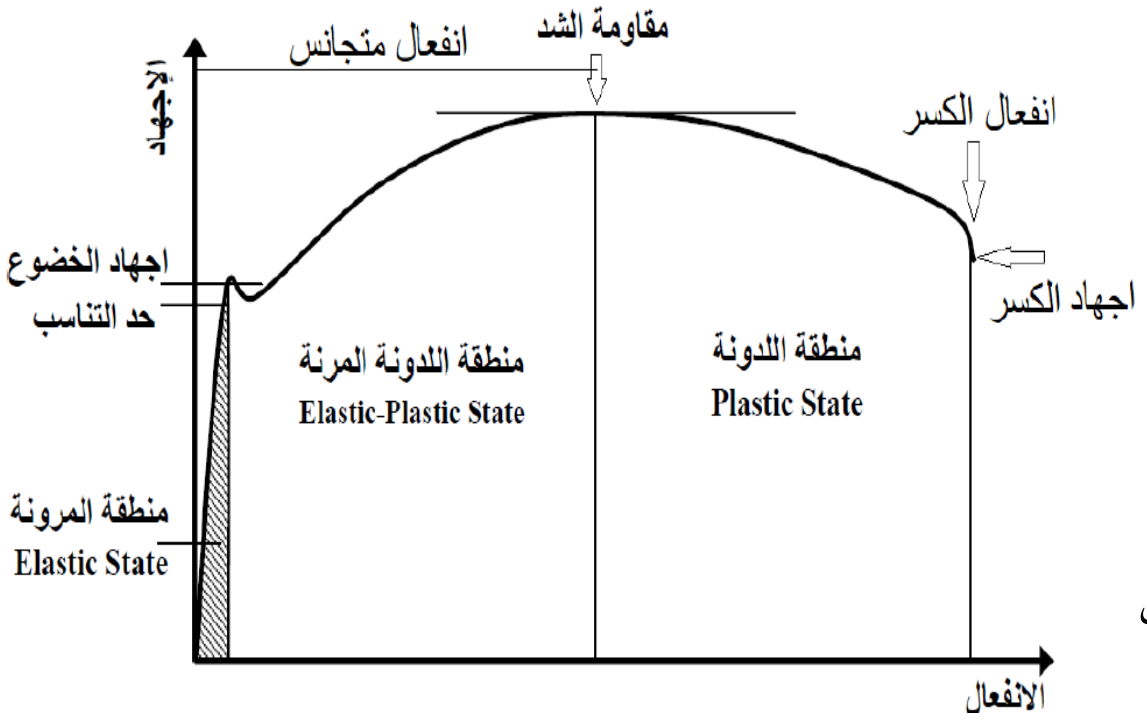
لطلاب الهندسة المدنية

مدرس المقرر

د.م. مهند سليم مهنا

مقدمة : 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 قوة على مادة ما، تمر المادة بعدة مراحل:

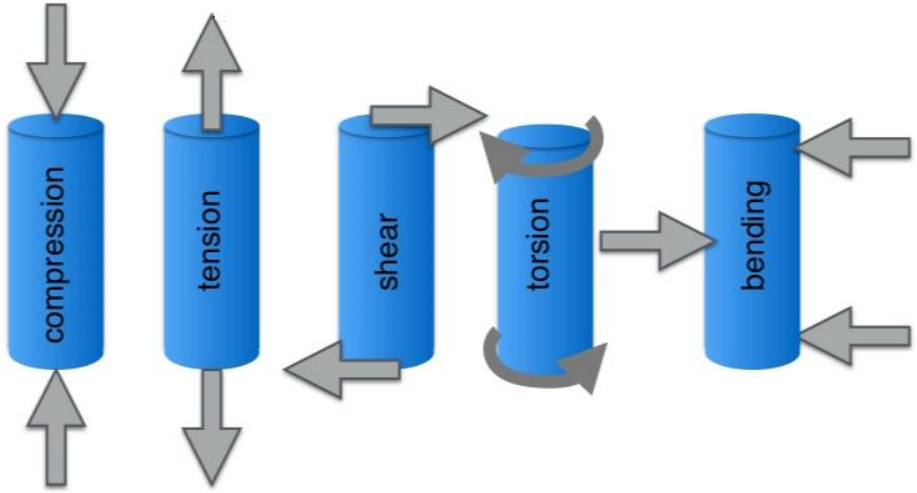
1-المرونة: عندما تتعرض أي مادة أو عنصر إنشائي إلى قوة ما فإن الجسم يتغير شكله وعند إزالة أو حذف القوة عن هذا العنصر يعود لوضعه الطبيعي.

2- اللدونة: عند زيادة القوة عن حد معين، فإن العنصر لا يعود إلى وضعه الأصلي بعد إزالة القوة عنه بل يتبقى فيه تشوه أو تغير ثابت.

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

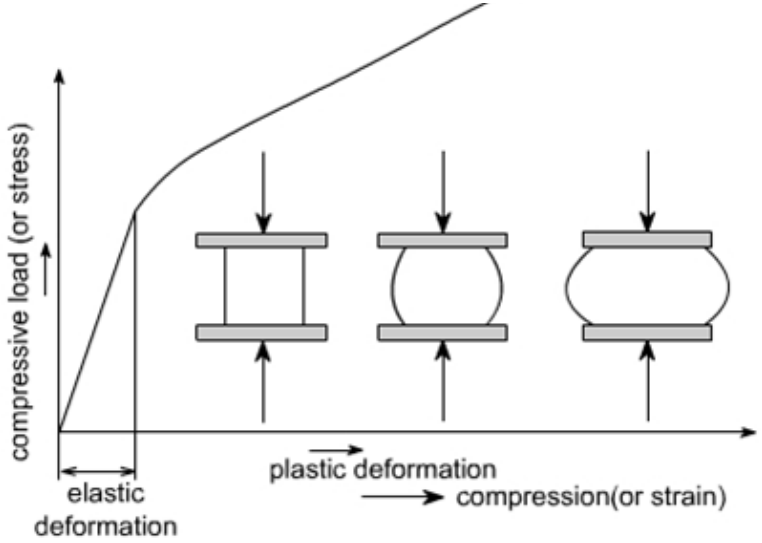
تمر معظم المواد بهذه المراحل (بنسب مختلفة) عندما تتعرض لتأثير الحمولات، لكن في كل التصميمات الجيدة والأمينة **يجب عدم تخطي مرحلة المرونة** (باستثناء ما تسمح به الكودات)

الخواص الميكانيكية للمواد



يعبر مفهوم الخواص الميكانيكية للمادة عن كيفية تصرفها عند تحميلها:

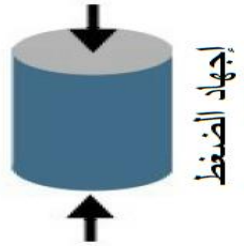
- تؤثر مرونة المادة على مقدار تشوهها تحت تأثير الحمولات، كما تلعب لدونة المادة أيضاً دوراً مهماً في تحديد متى تدخل المادة مرحلة التشوهات المتبقية عند تحميلها خارج حدود مرونتها.
- تحدد صلابة المادة ومتانتها مقدار الضغوط التي يمكن تحملها قبل أن تنهار المادة وتفشل. وبالتالي تعبر الخواص الميكانيكية عن مراحل وصول المادة لمرحلة الانهيار والكسر.



يتم عموماً تحديد العلاقة بين الإجهاد والتشوه (الانفعال) في مادة من خلال إخضاع عينة مادية لاختبار الشد أو الضغط. وفي هذا الاختبار يتم تطبيق قوة محورية متزايدة تدريجياً على عينة الاختبار، كما يتم قياس التشوه الحاصل (الانتقال) مع زيادة التحميل، ويمكن رسم هذه القيم كمنحنى (قوة-تشوه)، ويعتمد التشوه في عينة الاختبار على كل من معامل مرونة المادة بالإضافة إلى أبعاد العينة الهندسية.

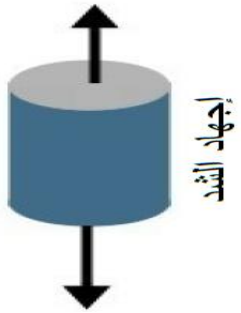
الخواص الميكانيكية للمواد: (Mechanical Properties for materials)

الإجهاد، المرونة، اللدونة، المطولية، القصافة، الحمل الديناميكي، التعب

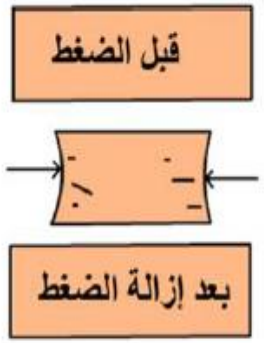


1- الإجهاد (stress): هو القوة المطبقة على واحدة السطح من المادة (الإجهاد= القوة/المساحة) ويعبر عن مقدار انتشار القوى ضمن سطح العينة.

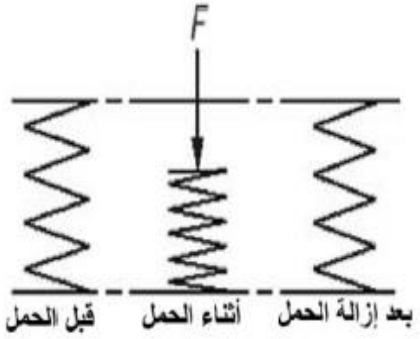
وتوجد أنواع مختلفة من الإجهادات مثل إجهاد الضغط ويحدث عندما تكون الحمولة أو القوى ضاغطة، وإجهاد الشد عندما تتعرض المادة لقوى سحب أو شد.



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



مادة مطاط

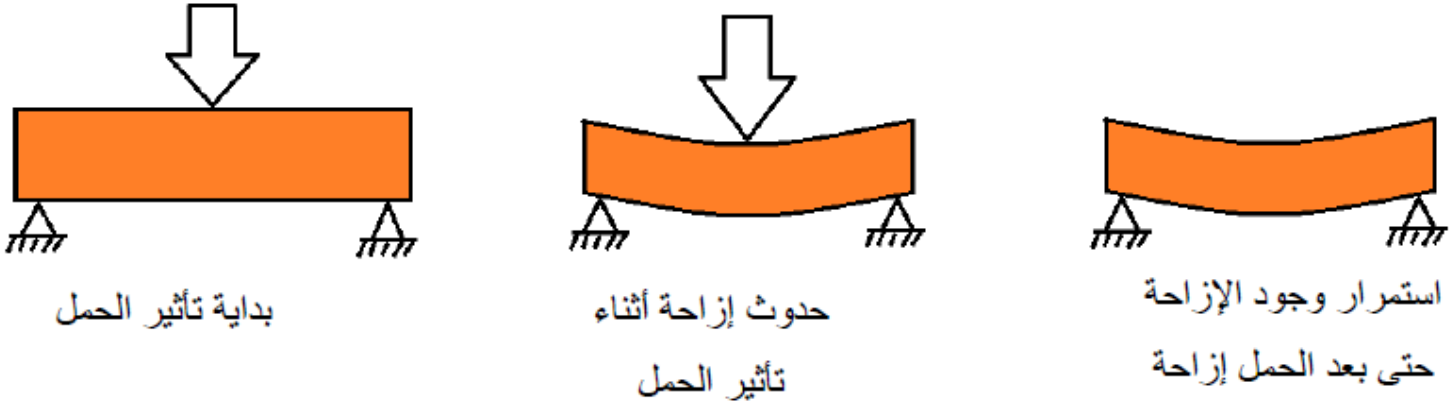


باى معدنى

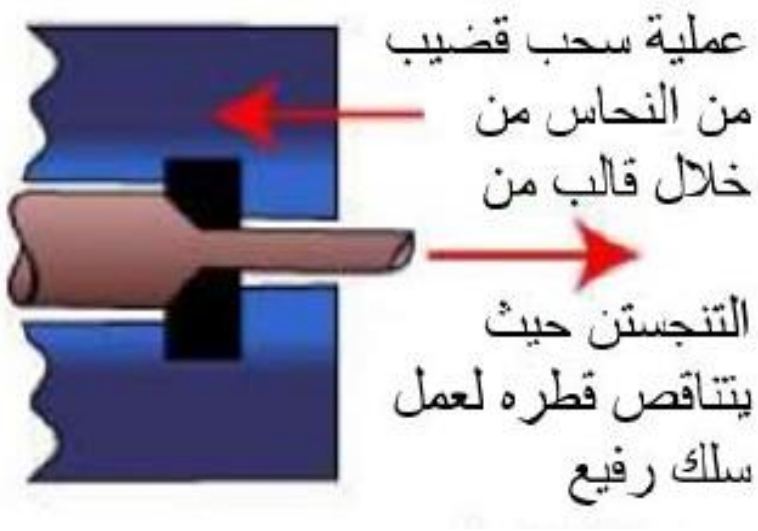
3- اللدونة (plasticity):

تعبر عن قدرة المادة على الاحتفاظ بشكلها الجديد بعد حدوث التشوهات الناتجة عن القوى المؤثرة عليها، لذلك فاللدونة عكس المرونة.

ليست هناك مادة مرنة تماماً أو لدنة تماماً، بعض 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.



4- الممطولية/ القابلية للسحب (Ductility): تعبر عن قابلية المادة للاستطالة عند شدها، وتقاس هذه الخاصية بمقدار الزيادة في طول العينة أو النقص في مساحة مقطعها (بدون تشققات) .كما يمكن تعريفها بأنها قدرة المادة على السحب والاستطالة الطولانية المتوافقة مع نقصان بالمقطع **دون تشقق** عند تعرضها لحمولة شد.(تتمتع المعادن كالنحاس والفضة والألمنيوم بممطولية ملحوظة)



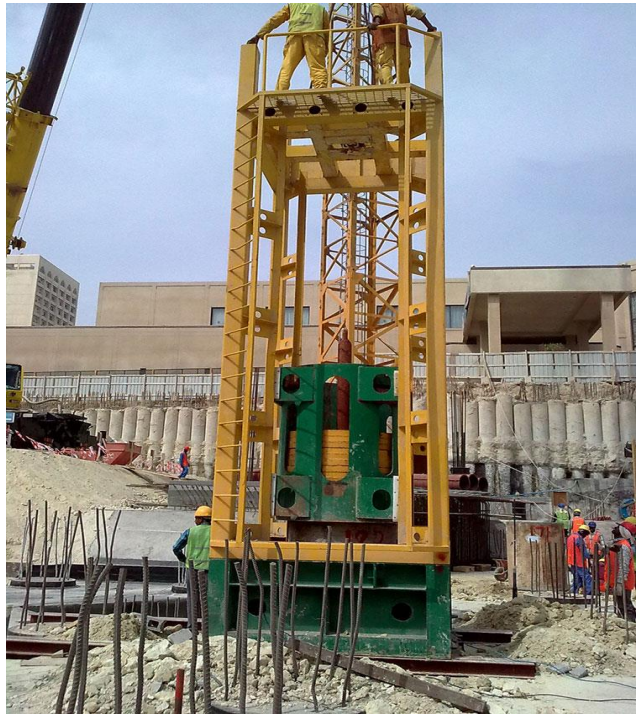
5- القصافة أو الهشاشة (Brittleness): تعبر عن قابلية المادة للكسر عند تعرضها لقوى خارجية دون أي تشوهات ملحوظة سابقة للكسر. بمعنى آخر هي الخاصية التي تجعل المادة تنكسر قبل أي تغير ملحوظ في الشكل مثل الزجاج.

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

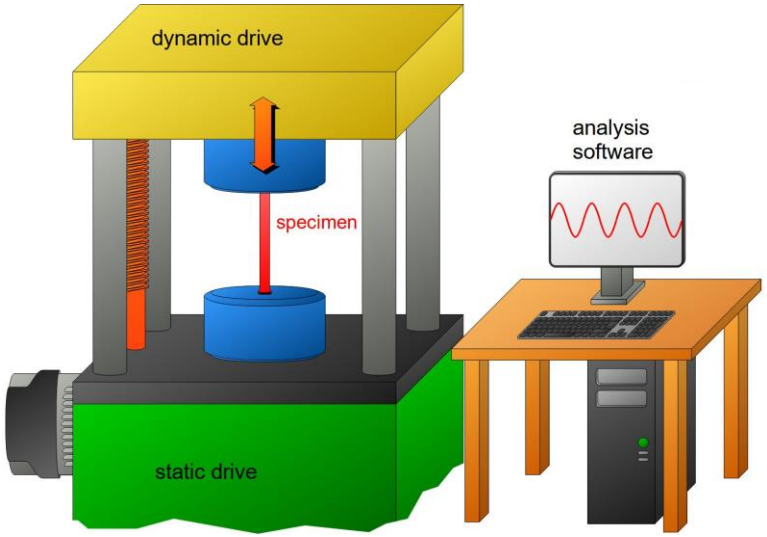
6. الحمل الديناميكي (Dynamic Load): وهو القوة أو الحمل الذى يطبق على العينة إما بصورة فجائية صدمة sudden impact أو متكررة دورية repeated or cyclic كحمولات المركبات والزلازل. و وتكون شدة الحمولة متغيرة مع الزمن وهو على عكس التحميل الاستاتيكى الذى يتم ببطء ويظل ثابتا لا يتغير.

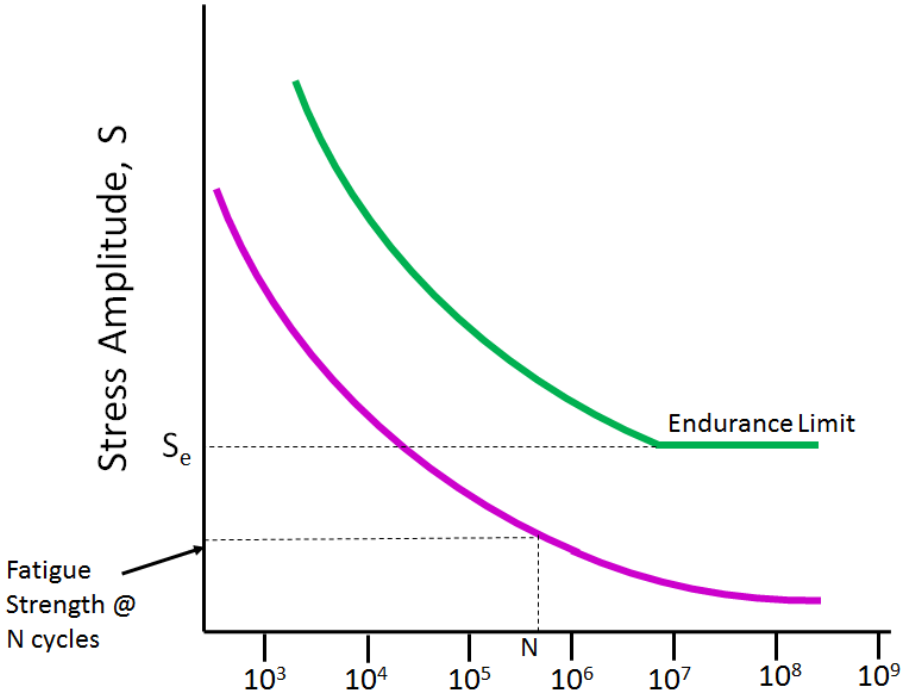
Dynamic pile test



Static pile test

7. **تعب المادة (Fatigue)** هو ظاهرة انهيار المادة تحت تأثير الاجهادات المتكررة والمستمرة على المدى الطويل.





توضح العلاقات التالية المتغيرات الأساسية التي تتحكم في أداء وسلوك المواد عند التحميل

القوانين الرياضية الأساسية

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

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

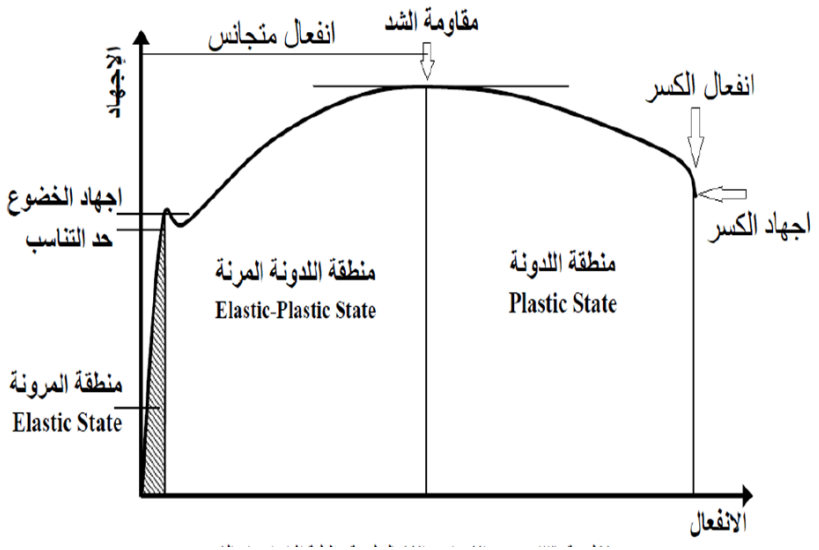
٢. الإجهاد الحقيقي (σ_{tr}) هو حاصل قسمة القوى العمودية (F) على مساحة مقطع العينة اللحظية (A_i) أي المساحة المحسوبة لحظة قراءة القوة.

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

٣. التشوه (ε) حاصل قسمة الاستطالة أو التقلص الحاصل في طول العينة (ΔL) على الطول الأصلي للعينة (L0)

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

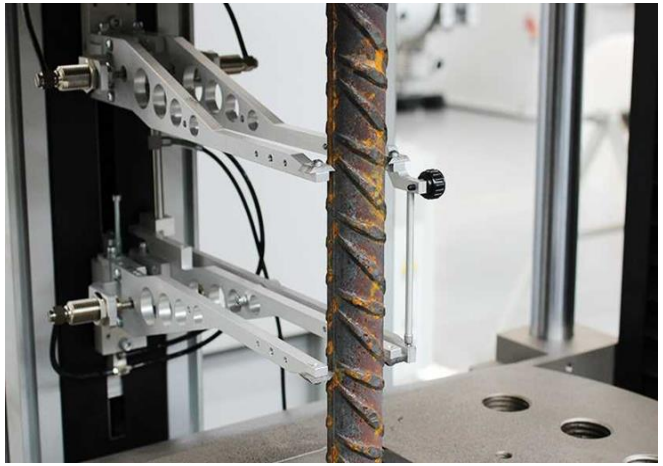
حيث L_o هو الطول الأصلي للعينة & L_f هو الطول النهائي للعينة



معامل المرونة (E): هو النسبة بين الإجهاد والتشوه ويسمى أيضاً بمعامل يونغ Young Modulus

وبما أن التشوه ليس له واحدة وواحدة الإجهاد هي الباسكال Pa تكون واحدة معامل المرونة (يونغ) هي الباسكال Pa أيضاً.

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



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)

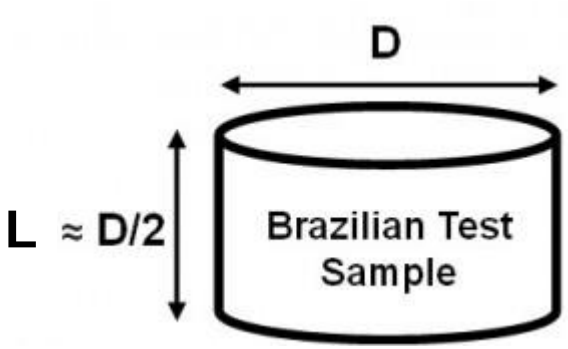
a- مقاومة الشد للمواد (σ_t) Tensile Strength of materials

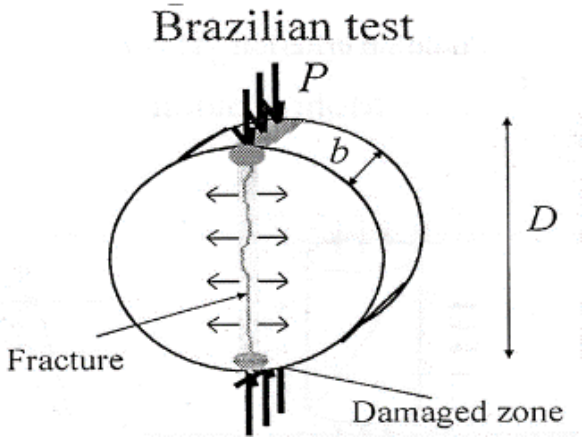
تختلف مقاومة الشد للمواد بدرجة كبيرة حيث أن مقاومة الشد للعينات الصخرية والبيتون ضعيفة ويتم تحديدها عن طريق تجارب مخبرية:

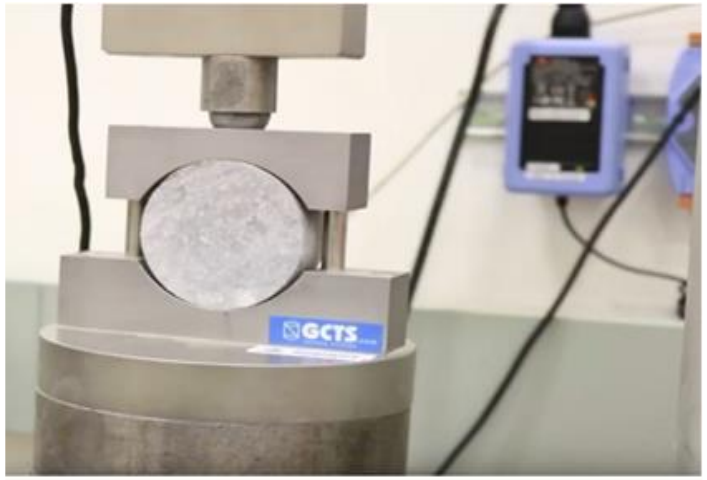
- **التجربة البرازيلية Brazilian Test:** الاختبار البرازيلي هو اختبار معملي يتم إجراؤه في ميكانيك المواد والصخور لتحديد قوة الشد للمواد المختلفة.

يتم إجراء الاختبار البرازيلي على عينات اسطوانية منتقاة بعناية يتم قطعها وتنعيمها بحيث يكون قطرها يساوي ضعف عرضها .

لا يقل قطر العينة عن 5cm بينما يجب أن يكون سمكها يساوي تقريبًا نصف القطر.

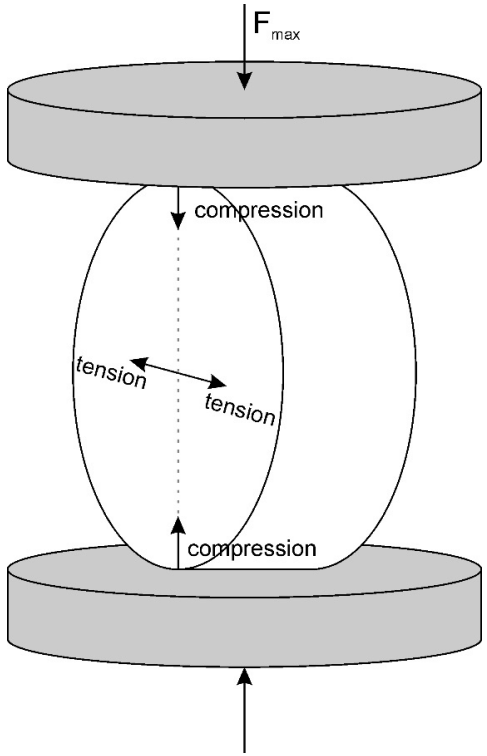






يؤثر محتوى الماء بشكل طفيف على نتائج الاختبار البرازيلي؛ لذلك يوصى بالحفاظ على العينات واختبارها بناءً على رطوبة الحقل.

يتم تطبيق حمولة ضغط كما هو موضح بالشكل حتى الانهيار على عينات اسطوانية . تعطى بالنتيجة مقاومة الشد بالعلاقة:



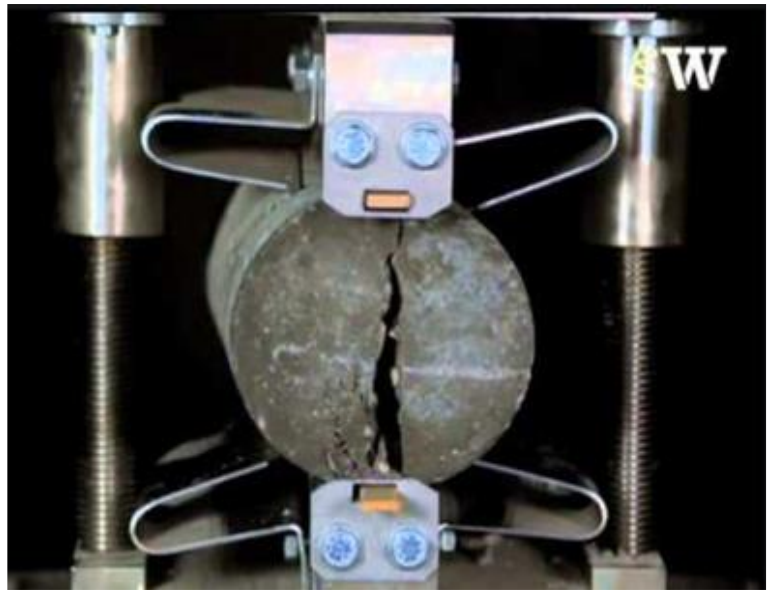
$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi . D . T}$$

P : حمولة الانهيار

D : قطر العينة

T : سماكة العينة

(عموماً السماكة تساوي نصف القطر بتجربة الشد)



$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi D.T}$$

Sample	Diameter D (cm)	Thickness t (cm)	t/D check	Loading rate (kN/s)	Time to failure (s)	Maximum Load (kN)	Tensile Strength (MPa)
	D	T				p	
Sample 1	5.212	2.586	0.5	0.7	20	14	**6.6**
Sample 2	5.231	2.681	0.51	0.7	25	18	**8.2**
Sample 3	5.216	2.764	0.53	0.7	30	21	**9.3**
Sample 4	5.215	2.681	0.51	0.7	29	20.1	**9.2**
Sample 5	5.204	2.584	0.5	0.7	24	17	**8.1**
Sample 6	5.213	2.431	0.47	0.7	32	22.3	**11.2**
Sample 7	5.219	2.62	0.5	0.7	26	18.5	**8.6**
Sample 8	5.213	2.416	0.46	0.7	25	17.5	**8.8**
Sample 9	5.216	2.394	0.46	0.7	30	20.8	**10.6**
Sample 10	5.22	2.344	0.45	0.7	19	13.4	**7**

أجريت 10 تجارب شد بالطريقة البرازيلية على عينات من الرخام لتحديد مقاومة الشد فكانت النتائج كما هو موضح بالجدول.

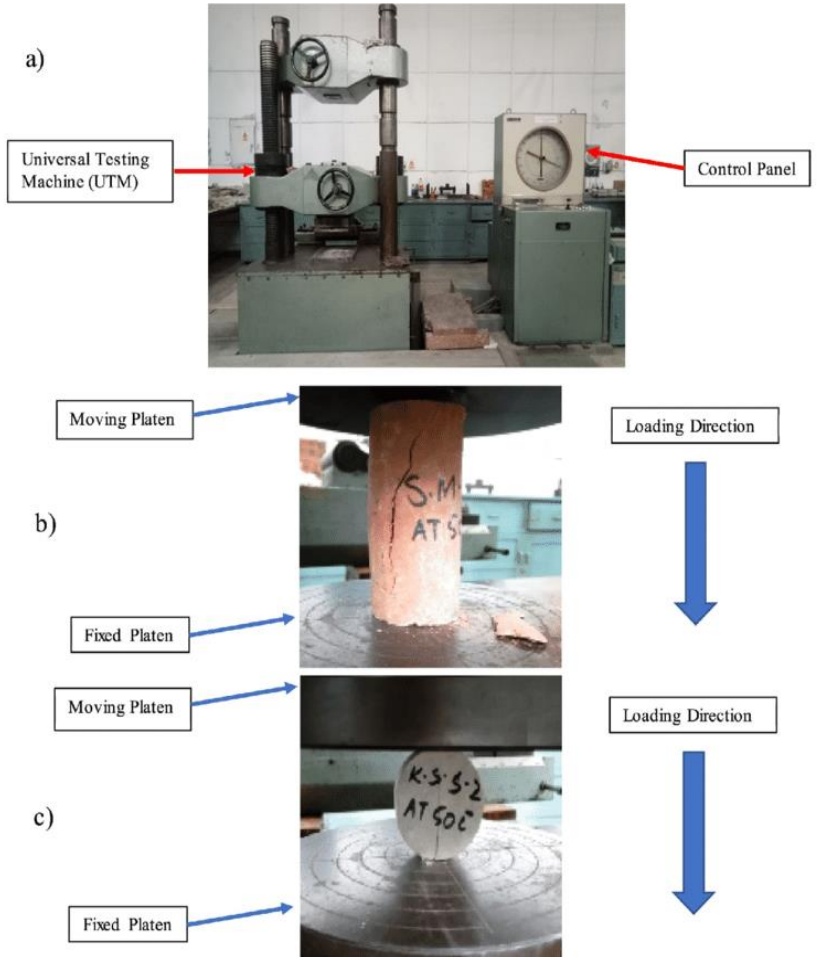
احسب مقاومة الشد الوسطية للعينة

$$\sigma_t = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sigma_{ti}}{10} = 8.75\ MPa$$

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

اختبار الضغط الحر: مشابه للتجربة البرازيلية ولكن هنا يكون عموماً قطر العينة يساوي نصف ارتفاعها.

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



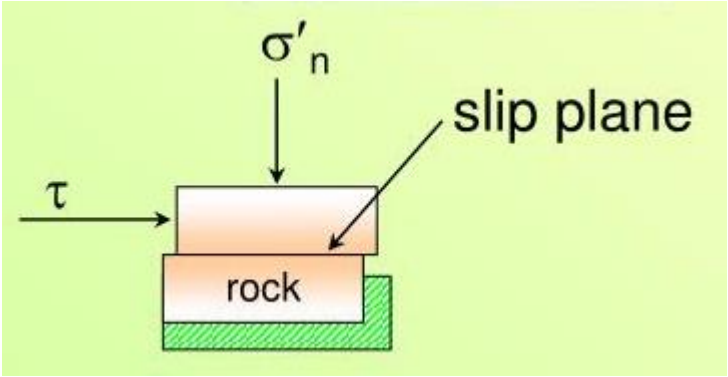
c- مقاومة القص للعينات (Shear strength of specimen):

تحدد قيمة القص للعينات الصخرية والترابية بخاصيتين:

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

-التماسك (Cohesion) (C)

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



الخواص الكيميائية للمواد:

<u>من أهم التجارب الكيميائية التي تجري على مواد البناء مثل الحصويات والرمال والغضار والبيتون وغيرها هي:</u>

1. المحتوى من الأملاح المنحلة
2. المحتوى من الكربونات
3. المحتوى من الجبس
4. المحتوى من المواد العضوية
5. محتوى الكبريتات والكلوريدات

محتوى الأملاح المنحلة (TDS):

تقاس نسبة الأملاح في العينات بطريقة الموصلية الكهربائية في مستخلص عجينة مشبعة.

$$TDS = 0.67 * EC$$

جهاز الناقلية الكهربائية لتقييم نسبة الأملاح المنحلة بالعينة المختبرة.

نسبة المواد العضوية:

تستخدم طريقة الحرق في فرن (مرمدة) على درجات حرارة مرتفعة 350- 400 م لمدة 6-7 ساعات وذلك لضمان حرق المواد العضوية بالكامل ومن ثم حساب فرق الوزن.

حساب الفاقد بالوزن لنسبة المادة العضوية قبل وبعد الترميد.

الفرن الكهربائي والمرمدة لقياس نسبة المادة العضوية.

محتوى الكبريتات والكلوريدات:

تصنيف الخطورة حسب محتوى الكلوريدات

التعرض للكلورايد	النسبة المئوية للكلورايد(Cl^-) – القابلة للذوبان في الماء– في التربة	كمية الكلورايد (Cl^-) في الماء، ppm	نوع الإسمنت	الحد الأعلى لنسبة وزن الماء إلى وزن المواد الإسمنتية
غير مؤثر	إلى ٠,٠٥	إلى ٥٠٠	–	–
معتدل	٠,٠٥ إلى ٠,١	٥٠٠ إلى ٢,٠٠٠	–	٠,٥٠
شديد+	٠,١ إلى ٠,٥	٢,٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠	I	٠,٤٥
شديد جداً +	أكثر من ٠,٥	أكثر من ١٠,٠٠٠	I وإضافة المواد البوزولانية+	٠,٤٠

تصنيف الخطورة حسب محتوى الكبريتات

التعرض للكبريتات	كمية الكبريتات(SO_4) في التربة القابلة للذوبان في الماء (نسبة مئوية من الوزن)	كمية الكبريتات (SO_4) في الماء، ppm	نوع الإسمنت	الحد الأعلى لنسبة وزن الماء إلى وزن المواد الإسمنتية
غير مؤثر	$٠,٠٠ \le SO_4 < ٠,١٠$	$٠ \le SO_4 < ١٥٠$	–	–
معتدل	$٠,١٠ \le SO_4 < ٠,٢٠$	$١٥٠ \le SO_4 < ١٥٠٠$	II	٠,٥٠
شديد+	$٠,٢٠ \le SO_4 \le ٢,٠٠$	$١٥٠٠ \le SO_4 < ١٠,٠٠٠$	V	٠,٤٥
شديد جداً +	$SO_4 > ٢,٠٠$	$SO_4 > ١٠,٠٠٠$	V وإضافة المواد البوزولانية++	٠,٤٥

بينت التحاليل المخبرية الكيميائية لعينات من التربة والماء مأخوذة من منطقة البهلولية في محافظة اللاذقية النتائج التالية:

Chemical element	Water	Soil
Sulfate mg/l	400-1400	90-181
Chlorides mg/l	50-120	22-75

ما صنف التعرض (exposure category) للموقع بحسب نسبة الكبريتات المقاسة؟

التعرض للكبريتات	كمية الكبريتات(SO_4) في التربة القابلة للذوبان في الماء (نسبة مئوية من الوزن)	كمية الكبريتات (SO_4) في الماء، ppm	نوع الإسمنت	الحد الأعلى لنسبة وزن الماء إلى وزن المواد الإسمنتية
غير مؤثر	٠,٠٠≤SO_4<٠,١٠	٠≤SO_4<١٥٠	–	–
معتدل	٠,١٠≤SO_4<٠,٢٠	١٥٠≤SO_4<١٥٠٠	II	٠,٥٠
شديد+	٠,٢٠≤SO_4≤٢,٠٠	١٥٠٠≤SO_4<١٠,٠٠٠	V	٠,٤٥
شديد جداً +	SO_4>٢,٠٠	SO_4>١٠,٠٠٠	V وإضافة المواد البوزولانية++	٠,٤٥

التعرض للكلورايد	النسبة المئوية للكلورايد(Cl^-) – القابلة للذوبان في الماء– في التربة	كمية الكلورايد (Cl^-) في الماء، ppm	نوع الإسمنت	الحد الأعلى لنسبة وزن الماء إلى وزن المواد الإسمنتية
غير مؤثر	إلى ٠,٠٥	إلى ٥٠٠	–	–
معتدل	٠,٠٥ إلى ٠,١	٥٠٠ إلى ٢,٠٠٠	–	٠,٥٠
شديد+	٠,١ إلى ٠,٥	٢,٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠	I	٠,٤٥
شديد جداً +	أكثر من ٠,٥	أكثر من ١٠,٠٠٠	I وإضافة المواد البوزولانية+	٠,٤٠

Chemical element	Water	Soil
Sulfate mg/l	400-1400 ppm	90-181
Chlorides mg/l	50-120 ppm	22-75

يمكننا بحسب الكود الأميركي ACI-318 تصنيف:

خطورة الكبريتات في الموقع من الصنف (معتدل)

خطورة الكلوريدات في الموقع من الصنف (غير مؤثر)

في سلوك المواد تسمى مرحلة التحميل المتوافقة مع عودة شكل العنصر لوضعه الطبيعي بعد إزالة القوة بـ؟			
مرحلة اللدونة	مرحلة الخضوع	مرحلة المرونة	الانكسار
تصنف جميع التجارب الآتية ضمن التجارب الكيميائية الشائعة على مواد البناء ماعدا:			
محتوى الكبريتات	محتوى الكربونات	محتوى الكلوريدات	محتوى الرطوبة
يستخدم الاختبار البرازيلي على العينات البيتونية لحساب مقاومة :			
الضغط	الشد	القص	الفتل
كل مما يلي يعتبر من الخواص الميكانيكية للمواد ماعدا:			
مقاومة الضغط	مقاومة الشد	الوزن النوعي	المرونة