

تقنيات التحليل العلمي و فحص المواد الأثرية

مقدمة

تعتبر التحاليل المخبرية للمخلفات المادية الأثرية و التراثية أساس لتحديد طبيعة مادة الأثر و طريقة تصنيعه الفنية و التكنولوجية ، و التي تساعد في معرفة التركيبة الكيميائية والمعدنية للمواد ، بالإضافة إلى الخواص الفيزيائية والكيميائية لها ، وهذا من أجل تشخيص أوضح للعوامل المسببة لتلف هذه المواد وفهم آلية تدهورها ، و ذلك بغية اقتراح حلول ناجعة وفعالة من أجل القضاء على التلف أو إيقافه من دون المساس بالمادة الأصلية أو التسبب في مشكلة إضافية ، كما تساعدنا في الاختيار الأمثل لمواد الترميم و إعادة التهيئة و التأهيل للمعالم التاريخية بصفة عامة .

1- وسائل و تقنيات تعيين الخصائص الفيزيائية

1-1 معامل امتصاص الماء :

الهدف من هذا التحليل هو معرفة نسبة كمية الماء سواء في الحالة السائلة أو الغازية التي تستطيع مادة الأثر (حجر، ملاط ، فخار ..الخ) امتصاصها ، ويتم التعرف على هذه الكمية بوزن العينات المستعملة بعد تجفيفها في الفرن حتى الحصول على الكتلة الثابتة ، وبعدها تغمر هذه العينات في

حمام مائي مدة ساعتين من الزمن ، ويتم الوصول إلى هذه النسبة بتطبيق القانون التالي (1) :

$$\text{معامل الامتصاص (م.ا)} = \frac{ك1 - 2ك1}{ك1} \times 100\%$$

بحيث :

م.ا : معامل الامتصاص

ك1: كتلة العينة الجافة

ك2: كتلة العينة الرطبة

1-1-1 خطوات العمل :

لتعيين نسبة الامتصاص يمكننا إتباع إحدى الطريقتين التاليتين :

1-2-1 الطريقة الأولى

نستعمل ثلاث أجزاء من العينة ونجففها في فرن للتجفيف درجة حرارته 100 درجة مئوية بعدها نضع العينات في حمام مائي(حرارته 80 درجة مئوية لمدة ساعتين) حتى التحصل على الكتلة الثابتة ك1 ، ثم نخرج العينات ونضعها في إناء من الخزف الصيني به ماء عادي بغية تبريد العينات قليلا ، ثم نزن العينات في ميزان إلكتروني بعد مسحها بمنشفة مبللة حتى نتقأى الوزن الزائد لقطرات- انظر الشكل رقم 01



الشكل رقم 01 : مراحل تعيين نسبة الامتصاص للمواد (الطريقة الأولى).

2-2-1 الطريقة الثانية

نأخذ ثلاثة أجزاء من كل عينة ، مع استبدال الميزان الالكتروني بميزان هيدروستاتيكي ، ونقوم بتعيين الكتلة الناشئة ثم وضع العينات في حمام مائي لمدة ساعتين ، بعدها نبرد العينات ثم نمسحها بمنشفة مبللة ونقوم



بوزنها في الميزان الهيدروستاتيكي في الهواء - انظر الشكل رقم 02 .

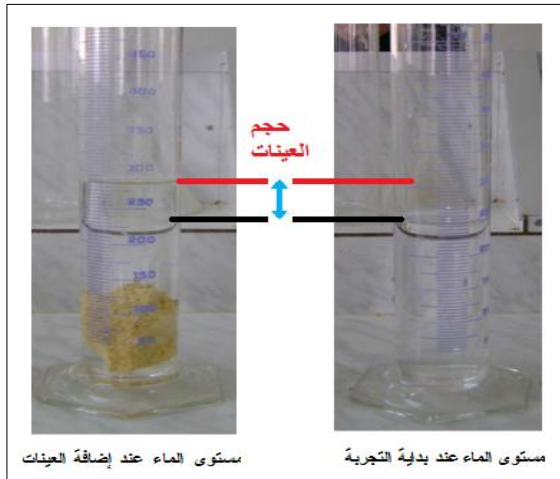
الشكل رقم 02 : مراحل تعيين نسبة الامتصاص للمواد (الطريقة الثانية).

1-2 الكتلة الحجمية الظاهرية

الكتلة الحجمية الظاهرية تعبر عن كتلة المادة (غ) بالنسبة لحجمها (سم³)، وهذا بالأخذ بعين الاعتبار المسامات و الشعيرات المتواجدة فيها⁽²⁾ ، ويمكن الحصول عليها بطريقتين:

الطريقة الأولى : نستخدم القانون التالي⁽³⁾: (أنظر الشكل رقم 03)

$$\text{كح ظ} = \frac{\text{ك}}{(\text{ح} - \text{ح}_2)} \text{ (غ / سم}^3\text{)}$$



الشكل رقم 03 : مراحل

تعيين الكتلة الحجمية الظاهرية (الطريقة الأولى).

بحيث :

كح ظ: تمثل الكتلة الحجمية الظاهرية للعينات

ك : وزن العينات وهي مشبعة بالماء .

ح1: حجم الماء وحده في الاسطوانة.

ح2: حجم الاسطوانة بعد إضافة العينات.

الطريقة الثانية : في هذه الطريقة نستخدم القانون التالي :

$$\text{كح ظ} = \frac{\text{ك}_1 \times \text{كح الماء}}{(\text{ك}_2 - \text{ك}_3)} \quad (\text{غ} / \text{سم}^3)$$

بحيث:

كح ظ: تمثل الكتلة الحجمية الظاهرية للعينات

ك1 : تمثل الكتلة الناشئة للعينات .

ك2: تمثل الكتلة المشبعة بالماء موزونة في الجو .

ك3: تمثل الكتلة المشبعة بالماء موزونة داخل الماء .

كح الماء : الكتلة الحجمية للماء (1غ/سم³).

1-3 الكتلة الحجمية الخصوصية

الكتلة الحجمية الخصوصية هي نسبة وزن المادة بالنسبة لحجمها المطلق، أي حساب حجم الأجزاء الصلبة فقط ⁽⁴⁾، و تعطى الكتلة الخصوصية بالعلاقة التالية:

$$\text{كح خصوصية} = \frac{(\text{ك}_2 - \text{ك}_1) \times \text{كح توليان}}{4\text{ك}_2 - (\text{ك}_1 - \text{ك}_3)} \quad (\text{غ} / \text{سم}^3)$$

لإيجاد الكتلة الحجمية الخصوصية يجب حساب :

أولاً : حساب حجم البيكنومتر (Pycnomètre) : يعطى بالعلاقة الآتية

$$\text{ح بيكنومتر} = \frac{\text{ك}2 - \text{ك}1}{\text{كح الماء}} (\text{سم}^3)$$

ثانيا : حساب الكتلة لتوليان : تعطى بالعلاقة الآتية

$$\text{كح توليان} = \frac{\text{ك}4 - \text{ك}1}{\text{ح ب}} (\text{غ} / \text{سم}^3)$$

حيث :

كح توليان : الكتلة الحجمية للتوليان (المذيب)

ح ب : حجم البيكنومتر

ك1: وزن البيكو متر فارغ (أنبوب الاختبار)

ك2: وزن البيكنو متر مع العينة

ك3: وزن البيكنو متر مع العينة مملئ بالتوليان.

ك4: وزن البيكنو متر مملئ بالتوليان حتى المسبار.

ك5: وزن البيكنو متر مملئ بالماء المقطر حتى المسبار.

الخطوات المتبعة لتعيين الكتلة الحجمية الخصوصية للمواد - أنظر الشكل رقم 04.

- نقوم أولاً بأخذ أجزاء من كل عينة ، ثم نسحقها في هاون من الخزف الصيني ، بعدها .نغريل المسحوق المتحصل عليه في غربال قطر فتحاته 100 ميكرون .
- نغسل البيكنومتر نضعه ليحفظ في فرن التجفيف التي تكون درجة حرارته ما بين 100 و 110 درجة مئوية ، ثم نزنه فنحصل على ك1.
- نملأ البيكنومتر بالماء المقطر حتى خط العنق ، بعدها نزنه فنحصل على ك5 نسكب المحتوى ونجفف البيكنومتر في الفرن.
- نملأ البيكنومتر بالتوليان حتى خط العنق ثم نزنه لنحصل على ك4 ثم نفرغ المحتوى ونغسل البيكنومتر بالماء المقطر ونجفقه في الفرن
- بعدها نضع كمية من المسحوق (3 غ) في البيكنومتر ونزنه فنحصل على ك2.
- نملأ البيكنومتر السابق بكمية من التوليان ثلثي حجمه ثم نضعه في حمام مائي درجة حرارته (ما بين 40 و 50 درجة مئوية) لمدة 30 دقيقة ، نخرجه ونضعه تحت حنفية الماء لتبريده ، ثم نظيف له التوليان حتى خط العنق ونقوم بوزنه فنحصل ك3.
- وفي الأخير نفرغ المحتوى وننظف البيكنومتر أولاً باستعمال التوليان ثم نستعمل الماء لتعيين حجم البيكنومتر ح ب.



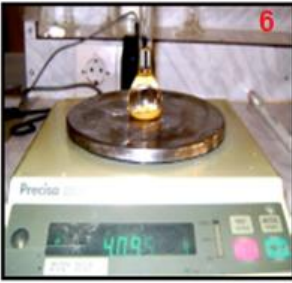
إضافة المسحوق داخل البيكنومتر



وزن البيكنومتر فارغ



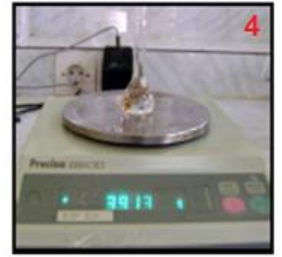
مسحوق العينة



إعادة وزن البيكنومتر بعد
استخراجه من الحمام المائي



وضع البيكنومتر مملوء بالتوليان
و العينات داخل الحمام المائي



وزن البيكنومتر مملوء بالتوليان

الشكل رقم 04 : مراحل تعيين الكتلة الحجمية الخصوصية

1-4 المسامية

المسامية هي حجم فراغات المتواجدة في المادة بالنسبة لحجمها الكلي . ويمكن تقسيم المسامية إلى ثلاثة أنواع⁽⁵⁾، وهي :

- المسامية الكلية الممتلئة في حجم كل الفراغات بالنسبة لحجم الكلي للمادة ،
- المسامية الظاهرية (المسام المفتوحة): هي نسبة حجم المسام المفتوحة إلى الحجم الكلي معبراً عنها كنسبة مئوية .
- المسامية الداخلية أو المغلقة فتمثل حجم الفراغات الداخلية فقط في المادة بالنسبة لحجمها الكلي.

1-4-1 خطوات العمل

- نجفف العينات في درجة حرارة 100 درجة مئوية حتى الحصول على كتلة ثابتة (ك1).

- نضع العينات في الحمام المائي في درجة حرارة درجة مئوية لمدة ساعتين من الزمن.
 - نخرج العينات و نقوم بتبريدها بماء عادي، ونزيل الماء السطحي بواسطة منشفة جافة ثم نزننها للحصول على (ك2).
- يمكن حساب المسامية بالعلاقات الآتية:

أ- المسامية الكلية : تعطى بالعلاقة التالية

$$\text{م الكلية} = 1 - \frac{\text{كح الظاهرية}}{\text{كح الخصوصية}} \times 100 \%$$

ب- المسامية الظاهرية : تعطى بالعلاقة التالية

$$\text{م الظاهرية} = \frac{\text{كح الظاهرية} \times (1 - \text{ك2})}{\text{ك1}} \times 100 \%$$

ج- المسامية المغلقة (الداخلية) : و يمكن الحصول عليها بتطبيق القانون الآتي :

$$\text{المسامية المغلقة (م المغلقة)} = \text{المسامية الكلية} - \text{المسامية الظاهرية}$$

1-5 اختيار التدرج الحبيبي بالغريلة

تهدف هذه التجربة إلى توزيع وتصنيف الحبيبات حسب أبعادها ويتم ذلك بواسطة غرابيل أو مناخيل ذات القطر الأكبر من 0.08 مم.

❖ أدوات العمل

- مجموعة مناخيل (غرابيل)
- ميزان بحساسية 0.1 غ
- أتوف تجفيف
- هزاز ميكانيكي

❖ خطوات العمل

- نقوم بتحضير العينات من التربة وذلك حسب القاعدة الوزن التجريبي أي :

$$\text{كتلة التجربة (غ)} = 2 \times \text{القطر الأكبر المستعمل (مم)}.$$

- غسل العينة على المنخل (الغريال 0.08 مم) ثم نجففها في أتوف التجفيف (ك).

- نحضر سلسلة من المناخيل أو الغربال فوق بعضها البعض حيث يكون الغربال ذو القطر الأصغر من الأسفل إلى الغربال ذو القطر الأكبر إلى الأعلى، مع وضع إناء قاعدي في الأسفل وغطاء في الأعلى لمنع تطاير المادة.
- نفرغ العينات المرونة فوق الغربال العلوي ونشغل الهزاز الكهربائي أو باليد لمدة زمنية معينة.
- بعد انتهاء المدة الزمنية لعملية الغربلة، نزن الكمية المرفوضة من المادة في كل غربال على حده.

• النتائج و تحليلها

نقوم بحساب المرفوض الكلي بالنسبة المئوية :

$$\text{النسبة المتبقية على كل منخل} = \frac{\text{وزن المادة المرفوضة على كل منخل}}{\text{وزن الكلي الجاف (ك)}} \times 100 \%$$

حسا

ب نسبة المار على كل منخل تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\text{نسبة المارة (\%)} = 100 - \text{النسبة المتبقية (\%)}$$

وبعد إتمام عملية الحساب نقوم برسم المنحنى البياني للتوزيع الحبيبي للمادة المختبرة حيث يكون محور الترتيب يمثل كمية المارة ، محور الفواصل يمثل لوغاريتم أقطار المناخل (الغرابيل).

نتائج اختبار التدرج الحبيبي

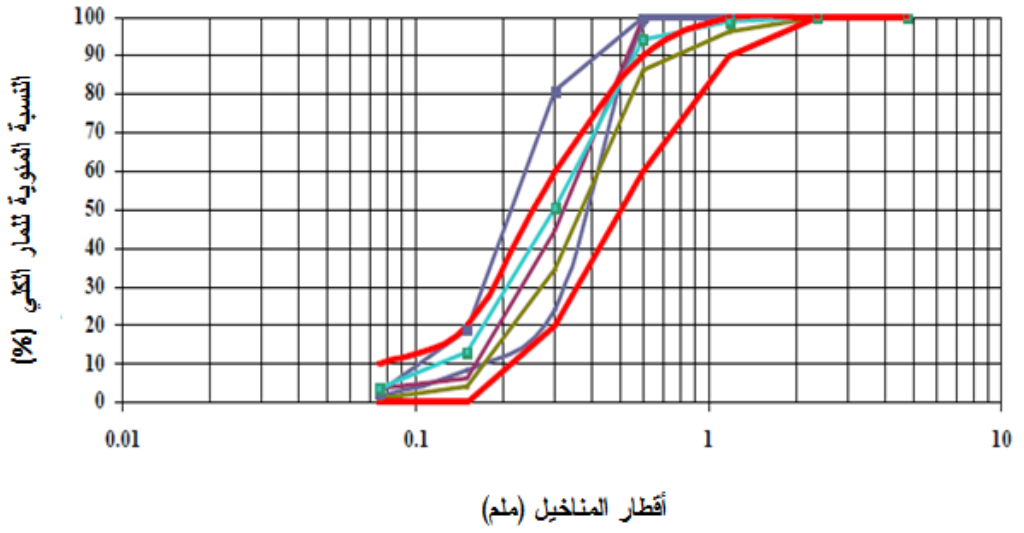
طبيعة العينة:

الوزن الكلي:

رقم العينة :

الوزن الجاف (بعد الغسل) :

مقاس المنخل (مم)	الوزن المتبقي	الوزن المتبقي التراكمي	نسبة المتبقي	نسبة المارة



الشكل رقم 05 : التمثيل البياني للتدرج الحبيبي للتربة بالغربة

- هناك عدة مقاييس لتقييم حجم الحبيبات وتعريفها منها النظام الدولي international system والذي يعتمد على تحديد قطر الحبيبات كما يلي:

المجموعة	قطر الحبيبات (مم)
الحصى	أكثر من 2
الرمل الخشن	من 2-0,2
الرمل الناعم	من 0,2-0,02
الطمي	من 0,02-0,002
الطين	أقل من 0,002

6-1 تحديد قوام التربة

تهدف هذه التجربة إلى تحديد نسب الرمل والطمي والطين في الخليط (التربة)، بعد التخلص من المادة العضوية، وغسل الأملاح والمواد اللاصقة، وتقريق الحبيبات، ثم فصل الحبيبات في حجم الرمل، باستخدام مناخل ذات فتحات، لا يقل قطرها عن 0.05مم. ومعرفة قوام التربة مهم من الناحية

العملية حيث انه يعطى فكرة عن بعض الصفات الفيزيائية الأخرى للتربة مثل مدى قدرة التربة للاحتفاظ بالماء , سرعة مرور الماء في التربة, تهوية التربة, قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية و السعة التبادلية الكاتيونية للتربة.

يتم فصل الحبيبات بطريقة الترسيب نتيجة اختلاف أحجامها وعلاقة ذلك بسرعة رسوب الحبيبات في الوسط. هذا الأساس يعتمد على قانون ستوكس (Loi de Stokes) والذي ينص على انه عند سقوط حبيبة في سائل فان سرعة الرسوب تتناسب

طردياً مع حجم الحبيبة (نصف قطر الحبيبة) كما يظهر ذلك من

$$\text{سر} = \frac{2 \text{ ج نق}^2 (\text{كج م} - \text{كج م})}{9 \text{ و}}$$

العلاقة التالية:

حيث:

سر : سرعة سقوط حبيبات التربة في الوسط (سم/ثانية)

ج: عجلة الجاذبية الأرضية (980 سم/ ثانية²)

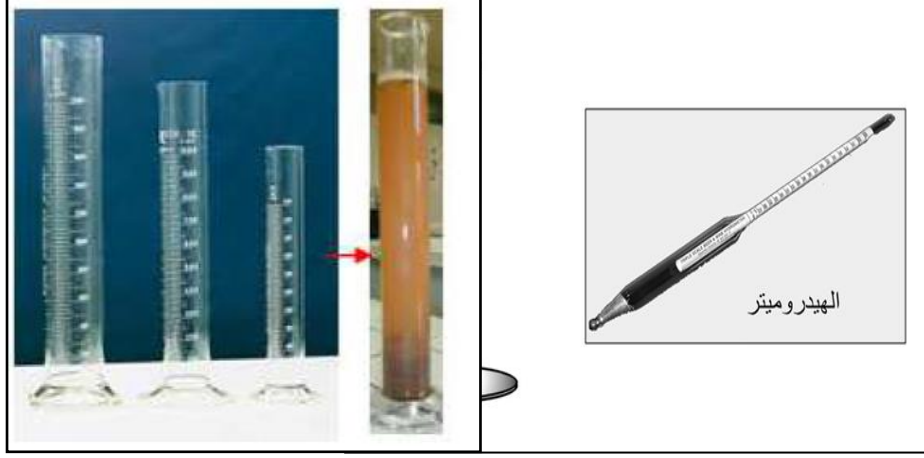
نق: نصف قطر الحبيبة (سم)

كج ص: كثافة الحبيبات الصلبة (جرام/سم³)

كج س: كثافة السائل أو الماء (جرام /سم³)

ل : لزوجة السائل (جرام/سم/ثانية)

يستعمل في هذه الطريقة جهاز الهيدروميتر وهو عبارة عن ساق زجاجية مدرجة بقراءة تعطي النسبة المئوية لحبيبات التربة المعلقة في زمن القياس مباشرة.



الشكل رقم 6 : جهاز الهيدروميتر

- طريقة العمل
 - يوزن 100 جرام من التربة.
 - تتخل التربة في منخل قطره 2 مم، ثم توزن التربة المحتجزة وتكون هذه التربة هي الرمل الخشن
 - توضع بقية التربة في بيكر سعة 600 مل ويضاف إليها 300 مل ماء + 15 مل من اوكسالات الصوديوم لمنع تكون الفقاعات

- ينقل معلق التربة من البيكر إلى مخبار مدرج سعة 1000مل ويكمل الحجم بالماء إلى 1000
- يوضع الهيدروميتر داخل المخبار و ما يحويه وتقدر النسبة المئوية للطين والطيني بعد 5دقائق من وضع الهيدروميتر ثم تقدر النسبة المئوية للطيني فقط بعد 5 ساعات
- بطرح القراءتين نحصل على النسبة المئوية للطين فقط
- نحصل على النسبة المئوية للرمل الناعم
- الرمل الناعم=100-(نسبة الرمل الخشن+الطين+الطيني)

• تعيين النسب بمثلث القوام

فمثلث قوام التربة له أهمية في تحديد رتبة قوام التربة . رتبة قوام التربة تعتبر وصف للمجموعات الحجمية للحبيبات التي تتكون منها التربة حيث تمرر عينة ناعم التربة من خلال مناخل تختلف أقطار ثقبها لفصل كل مجموعة حجمية على حدة و من ثم نحدد نسبة المجموعة الحجمية إلى عينة التربة . المجموعات الحجمية ثلاثة هي الطين و قطر حبيباته أقل من 0,002 ملليمتر و السلت قطر حبيباته من 0,002 إلى 0,02 ملليمتر و الرمل قطر حبيباته من 0,02 حتى 2 ملليمتر . كل ضلع من أضلاع مثلث القوام موقع عليه النسب المئوية من صفر % و حتى 100 % لأحد المكونات الثلاثة لناعم التربة و يمتد خطين من عند نسب 10 و 20 و ... حتى 90 إلى الضلعين الآخرين بالمثلث لتتقاطع هذه الخطوط بداخل

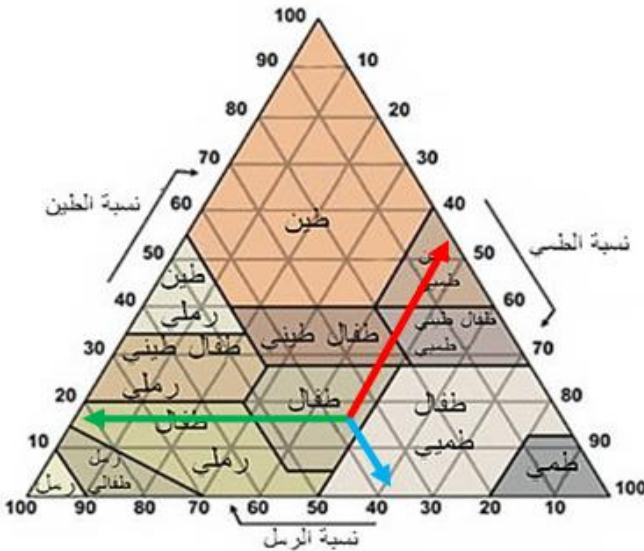
مساحات في قلب المثلث كل مساحة منها مكتوب عليها أسم رتبة قوام مختلفة .

وتجدر الإشارة إلى أن طريقة قراءة المثلث تكون بالطريقة التالية:

- مع اتجاه الأسهم نبدأ من عند اكبر حجم وهو الساند أو الرمل أي قاعدة المثلث باتجاه عقارب الساعة وبعمل خط موازي لضلع المثلث السابق

- ثم التالي وهو نسبة الطين في التربة ونمثلها بخط موازي لما قبلها وهو الرمل
- وننتهي بأخر شيء وهو الغرين ويكون بخط موازي للطين وتقاطع الخطوط الثلاث سيكون هو قوام التربة.

مثال



نسبة
الطين :
46%
نسبة
الطمي
(الغرين)
37%
نسبة
الرمل :
17%

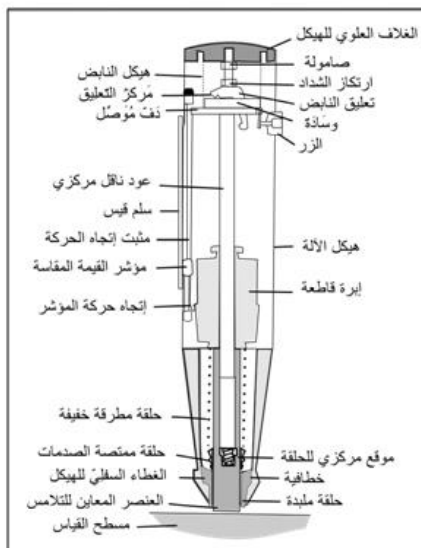
الشكل رقم 7 : مثلث نسب قوام التربة

7-1 الفحص بطريقة الارتداد

يعتبر من أحدث الطرق حادثة و استعمالا في تقدير مقاومة الأجزاء الحاملة للمعلم (الجران والأعمدة) ،و تتم عن طريق استخدام جهاز مطرقة شميدت .و تتمثل في اصطدام رأس مقياس المطرقة بواسطة دافعة مباشرة



طريقة العمل



لسطح الحجر ثم ارتداده مرة أخرى، ثم قياس مقدار الارتداد و تصنيفه إلى أرقام تسمى الارتداد (س) ، و قد تبين وجود علاقة بين رقم الارتداد و قيمة مقاومة الضغط على شكل منحنيات بيانية . و اعتمادا عليها يمكن تعيين قيمة التضرر المبني.

الشكل رقم 8 : جهاز مطرقة شميدث

8-1 الفحص بالأمواج فوق الصوتية

طريقة الفحص بالأمواج فوق الصوتية ، و في هذه الطريقة يتم استخدام موجات فوق صوتية تسري في مادة البناء عن طريق استخدام بلورات من الكوارتز ، و هذه الموجات يتم استقبالها عن طريق بلورات مماثلة ، و يتم قياس الزمن اللازم لسريان هذه الموجات خلال المادة (جدران البناء) بواسطة دوائر الكترونية لقياس الزمن و تسير الموجات في هذه الطريقة في اتجاهات طولية ، وبذلك يمكننا تحديد قياس الزمن و السمك الذي تسري فيه الموجات، و بالتالي تحديد سرعة السريان من خلال المادة الأثرية ، و التي عن طريقها يمكن معرفة جودة الحالة الداخلية للمادة و مدى تضررها. وتمكننا هذه الفحوصات في استعراض و توضيح أشكال و أنواع الشروخ و التصدعات التي أصابت أجزاء المعلم المتضرر، لاتخاذ أهم التدابير الوقائية و العلاجية .

2- تقنيات تحديد تأثير العوامل الخارجية على المواد الأثرية

2-1 تأثير الرطوبة

تهدف هذه التجربة إلى معرفة كمية المياه التي يمكن أن تمتصها عينات الأثر في نسب مختلفة من الرطوبة ، ابتداء من % 75 إلى غاية نسبة التشبع % 100، بالإضافة إلى معرفة التغيرات التي تحدث للعينات والتي يمكننا ملاحظتها بالعين المجردة كالتفتت مثلا ، و كذلك المقارنة بين نسبة امتصاص الماء للعينات التي ليست عليها أي طبقة من الطلاء وبين تلك التي بها طبقات مختلفة من الطلاء ⁽⁶⁾، وهذا بغية التأكد من دور الطلاء إن كان من أجل الزخرفة أو بغرض الحماية- انظر الشكل رقم 09.

خطوات العمل:

-ننظف العينات باستعمال الريشة من أجل إقصاء كل ما هو هش وغير متماسك بالعينات ، وإزالة الغبار الذي عليها.

-نضع العينات في فرن التجفيف درجة حرارته (100-110 درجة مئوية) ، وبين الفينة .الأخرى نزن العينات حتى نحصل على الكتلة الثابتة ك1.

- نقوم بتحضير أوساط معينة من الرطوبة وأخير نسب مختلفة (مثال : 75 و 95 و 100 %)، وهذا محاكاة للوسط الرطوبي بموقع الأثر أو المعلم (نسبة الرطوبة بها تتراوح بين هذه النسب) ، بحيث من أجل تحضير وسط بنسبة % 75 من الرطوبة فإننا نحتاج إلى كمية من الماء وكمية من ملح الطعام حتى يتشبع الماء ويترسب الملح في الأسفل مشكلا طبقة ، أما بالنسبة ل % 95 من الرطوبة فنحتاج لكمية من Na OH .

-بعد الانتهاء من تحضير النسب الخاصة من الرطوبة نضعها في البوتقة، ونبدأ بوزن العينات أثناء فترات زمنية مختلفة، نضيف العينات بعد: دقيقة واحدة، دقيقتان، 3 دقائق، 5 دقائق، 15 دقيقة، 30 دقيقة، ساعة، 3

ساعات، 5 ساعات، 24 ساعة، 3 أيام، 5 أيام، 7 أيام، 15 يوما، 30 يوما⁽⁷⁾.

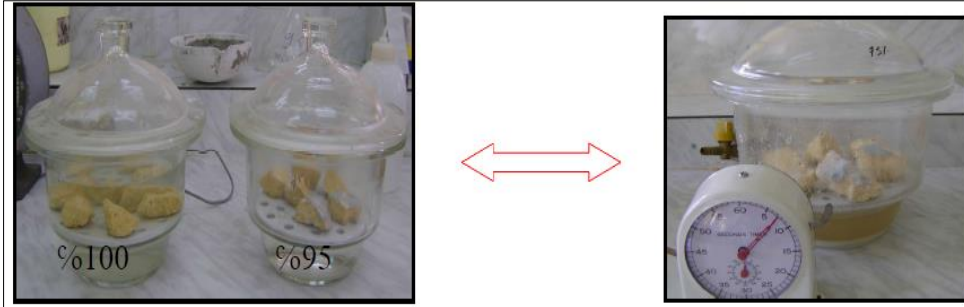
و نقدر تأثير الرطوبة من خلال نسبة الماء الممتص من طرف العينات لكل فترة زمنية، بحيث يتم حسابها باستخدام علاقة الامتصاص الآتية:

$$\text{الامتصاص} = \frac{\text{ك}2 - \text{ك}1}{\text{ك}1} \times 100\%$$

بحيث :

ك1: كتلة العينة الجافة

ك2: كتلة العينة الرطبة عند زمن المعين



الشكل رقم 9 : مراحل تعيين تأثير الرطوبة على المواد الأثرية

2-2 تأثير الحرارة

تهدف هذه التجربة (الصدمة الحرارية) إلى معرفة أقصى درجة حرارة يمكن لمادة الأثر (حجارة، قطع فخار، زجاج ..الخ) أن تتحملها من دون أن يحدث لها أي تغير خارجي⁽⁸⁾ ، نضع العينات في الفرن مدة 5 دقائق ،

بعدها نخرجها ونضعها في إناء من الخزف الصيني به ماء بارد درجة حرارته (5 درجة مئوية) وتكون درجة حرارة الفرن متغيرة تصاعديا كالآتي : 60، 80 ، 100، 160 ، 180 و 250 د.م.

تحليل النتائج: يعتمد على ملاحظة ما يلي :

- تغيير اللون العينة
- تقطت العينة (خاصة على حواف المادة)
- تشقق العينة أو انكسارها الكلي (مثل الزجاج)
- الاحتراق الجزئي للعينة

2-3 تأثير الملوثات الكيميائية (الأحماض والقواعد) على المعلم الأثرية:

نظرا لوجود الغازات الملوثة في الجو والتي تتفاعل مع الماء مشكلة أحماضا مختلفة أو قرب المعالم التاريخية من المناطق الساحلية (البحر) مما يعني وجود عناصر قاعدية ، وبغية معرفة تأثير هذه المحاليل على مختلف العناصر الإنشائية للمعلم الأثري (خاصة حجارة البناء) ، نقدم هذا النوع من التحليل لفهم أوضح لهذه التفاعلات والأثر الذي تخلفه على هذا النوع من المواد⁽⁹⁾.

خطوات التجربة

ومن أجل القيام بهذه التجربة نقوم بتحضير نوعين من محاليل الأحماض الآتية :

حمض الكبريتيك (H_2SO_4)

حمض الآزوت (HNO_3)

أما عن الأسس (المحاليل القاعدية) فنختار هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز مخفف، ثم نقوم بنقع العينات داخل المحاليل المحضرة أو إضافة قطرات على سطحها، و ملاحظة التفاعلات و التغيرات التالية:

✓ حدوث فقاعات غازية

✓ تحلل العينة و ذوبانها

✓ تغير في اللون

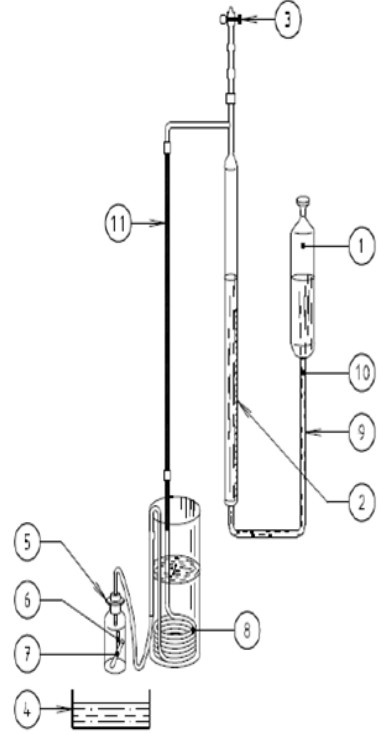
✓ زيادة في مسامية العينة و فقدان التماسك

✓ تشكل طبقة بيضاء على سطح العينة

2-4 تأثير كربونات الكالسيوم على المواد الأثرية (تعيين نسبة كربونات الكالسيوم)

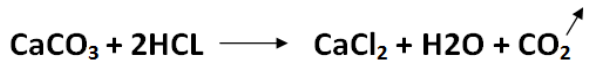
تعتبر **calcimértie** طريقة لحساب نسبة كربونات الكالسيوم في العينة ، و إن تحديد هذه النسبة يسمح لنا بالتعرف على نوعية المادة الأثرية و مصدر تلفها. و لقياس هذه النسبة نستعمل جهاز كلسيمتر برنارد - انظر الشكل رقم 10.

- | | |
|---|--|
| ① Flacon avec ampoule de niveau | 1- بَقِينَةُ لِتَحْدِيدِ الْمَسْتَوَى |
| ② Burette graduée | 2- سَحَاحَةٌ مَدْرُجَةٌ |
| ③ Robinet | 3- صَنْبُور |
| ④ Bac d'eau de refroidissement à température ambiante | 4- حَمَامٌ مَاءٍ بَارِدٍ |
| ⑤ Flacon à réaction | 5- سَحَاحَةُ التَّفَاعُلِ |
| ⑥ Tube à essai | 6- أَنْبُوبُ اخْتِبَارٍ |
| ⑦ Matériau soumis à essai | 7- مَادَّةُ الْاِخْتِبَارِ |
| ⑧ Système réfrigérant | 8- نِظَامُ تَبْرِيدٍ |
| ⑨ Tubulure souple reliant ① à ② | 9- أَنْبُوبٌ مَرْنَةٌ لِلرِّبْطِ |
| ⑩ Liquide (avec colorant éventuel) | 10- سَائِلٌ مَلَوْنٌ |
| ⑪ Gaz dégagé par la réaction | 11- غَازٌ مُنْبَعِثٌ مِنَ التَّفَاعُلِ |



الشكل رقم 10: جهاز كلسيمتر برنارد (Calcimètre De Bernard)

يتكون الجهاز من أنبوب مدرج من 0 إلى 100 سم³ مثبت على حامل، يحتوي على سائل ملون بغرض القراءة ، يتصل احد طرفيه بقنينة التي يحدد بها مستوى السائل (الحجم الابتدائي H₀) ، و طرفه الآخر يوصل بالبوتقة التي يوضع فيها أنبوب صغير يحتوي على حمض مع المادة الأثرية المراد اختبارها. عند ميلان البوتقة يتسرب حمض كلورهيديريك (HCl) بتركيز 10% الموجود في أنبوب الاختبار على المادة ، و يحدث التفاعل الذي يصاحبه انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون (CO₂) فيتغير مستوى السائل الملون و نتحل على قراءة جديدة للحجم H₁⁽¹⁰⁾. ان التفاعل الحاصل يترجم بالمعادلة الكيميائية التالية :



لتعيين نسبة كربونات الكالسيوم في عينة المادة الأثرية ، نقوم أولاً بتعيين حجم غاز CO₂ المنطلق من كتلة 0.1 غ من عينة كربونات الكالسيوم

النقية ، ثم نقيس حجم غاز ثاني أكسيد الكربون المنطلق من كتلة 0.1 غ من عينة المادة الأثرية المختبرة ، و بعدها نقوم بتطبيق العلاقة الآتية :

$$\text{نسبة كربونات الكالسيوم (\%)} = \frac{\text{ح المادة الأثرية}}{\text{ح } \text{CaCO}_3} \times 100$$

بجيث :

- ح المادة الأثرية: حجم غاز CO_2 المنطلق من المادة أو العينة الأثرية.
- ح CaCO_3 : حجم غاز CO_2 المنطلق من عينة كربونات الكالسيوم النقية.
- تكرر التجربة ثلاث مرات للتمكن من تعيين القيمة الحقيقية الدقيقة.

الخاتمة

- ينبغي لكل أثر من الآثار وقبل الدخول في إجراء العلاج، أن تجرى له مجموعة من الفحوص والتحليلات المختلفة التي تهدف إلى :
- التعرف على مادة الأثر وتركيبها الكيميائي الدقيق.
 - ترجمة بعض الكلمات القديمة للأثر.
 - الاستدلال على المصادر الأصلية للمواد الأثرية.
 - معرفة فوائد المواد أو الغرض منها.
 - معرفة التفاصيل الدقيقة للعمليات التكنولوجية (طرق الصناعة و آليات التلف ..).
 - التمييز بين الآثار القديمة الأصلية والتقليد الحديث لها.
 - علاج الأثر بمواد مناسبة له من ناحية المظهر و الخواص للإبقاء عليه وصيانتته للأجيال القادمة.

- تقدير عمر المقتنيات الأثرية أو المعالم التاريخية بطرق علمية ليس فيها مجال للشك و التخمين.

المصادر و المراجع

- 1- Détermination du coefficient d'absorption des matériaux selon la norme EN 1097-6 .
- 2- Yohann Ledru- Etude de la porosité dans les matériaux composites stratifiés aéronautiques – Institut National Polytechnique de Toulouse ,2009.
- 3- Mesures des masses volumiques, de la porosité et la teneur en eau des matériaux selon la norme NF P 15-433.
- 4- Détermination de la masse spécifique des matériaux selon la norme NF P 94-054
- 5- Détermination de la porosité selon la norme NF P 98-250-6.
- 6- Beck, K. et al- Characterization, water transfer properties and deterioration in tuffeau: building material in the Loire valley-France. Building and Environment, 38(9-10), p.1151-1162. 2003
- 7- Revue de l'ICOMOS – Humidité dans la maison – , vol.7,1970.
- 8- Résistance au choc thermique et endurance au choc thermique, ISO 7459, 2004
- 9- Billault . V – Study of coatings and soluble salt propotioning's- Poitiers ratio. ERM 2004.
- 10- Détermination de la teneur en carbonate NF P 94-048.