الجـمهورية الجـــزائرية الديمقـــــراطية الشعبية
وزارة التعليم العـــالي والبحث العلمي

جامعة الـــــجزائر 02 معـــــهد الآثار

محاولة تطبيق اللدائن الطبيعية في علاج الآثار
حالة الحجارة والخزف

مذكرة لنيل شهادة الماجستير ،تخصص : صيانة وترميم

إعداد الطالب : المشرف :

بلال إرمولي . د. عبد الكريم عزوق.

اعضـــاء لجنة المنـــــاقشة :

د . محمد الطيب عقاب	أستاذ محاضر	رئيسا .
د . عبد الكريم عزوق	أستاذ محاضر	مشرفا .
د .(ة) بورابة لطيفة	أستاذة محاضرة	ممتحنة.
د . ارزقي بوخنوف	أستاذ محاضر	ممتحنا.

السنة الجامعية :2012 -2013

الجـمهورية الجـــزائرية الديمقـــــراطية الشعبية
وزارة التعليم العـــالي والبحث العلمي

جامعة الـــــجزائر 02 معـــــهد الآثار

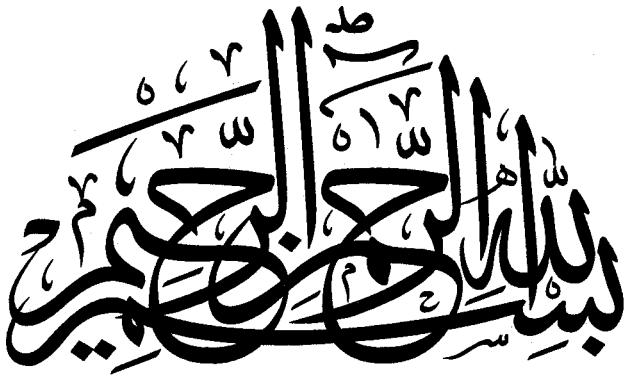
محاولة تطبيق اللدائن الطبيعية في علاج الآثار
حالة الحجارة والخزف

مذكرة لنيل شهادة الماجستير ،تخصص : صيانة وترميم

إعداد الطالب : المشرف :

بلال إرمولي . د. عبد الكريم عزوق.

السنة الجامعية :2012 -2013


بسم الله الرحمن الرحيم

إهـــــــداء

الحمد لله ربي العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين خاتم الأنبياء والمرسلين

أما بعد:

أهدي هذا العمل الى :

من ربتني وأنارت دربي وأعانتني بالصلوات والدعوات ،الى أغلى إنسان في هذا الوجود **أمي** ،الى من عمل بكد في سبيلي وعلمني معنى الكفاح وأوصلني إلى ما أنا عليه اليوم **أبي الكريم** ،الى جميع أفراد عائلتي **إخوتي** الذين كانوا سندا لي ،الى خطيبتي الغالية(سامية) التي وقفت الى جواري طوال فترة انجاز هذا العمل ،الى كل **الاصدقاء** والأحباب من دون استثناء

الى جميع **أساتذتي الكرام** في **معهد الاثار** وكل **زملاء الدراسة.**

شـــــــــكر وتقـــــــــــــدير

يقول الله سبحانه وتعالى في محكم تنزيله

((ولئن شكرتم لأزيدنّكم))

الحمد لله الذي خلق الانسان في أحسن تقويم وزينه بالعلم وميّزه بالعقل وكرّمه بأنواع التكريم وعلمه ما لم يكن يعلم والصلاة والسلام على المبعوث رحمة للعالمين ...أما بعد:

وأي كلمة شكر يمكن أن تفي الديون التي في عنقي اتجاه الأستاذ الفاضل **الدكتور عبد الكريم عزوق** الذي لم يبخل في تقديم العون والمساعدة لي ،فإني مدين له بالكثير،فله مني الشكر الجزيل عرفانا وامتنانا لما قد مه من ملاحظات قيّمة كان لها الأثر في إنجاز هذه الرسالة فجزاه الله ألف خير .

كما يطيب لي أن أقدم وافر الشكر والتقدير إلى الدكتور **أرزقي بوخنوف** على توجيهاته القيمة خاصة في العام النظري والتي كانت سندي في البحث

كما أشكر الدكتور محمد الطيب عقاب و الدكتورة لطيفة بورابة على قبولهم مناقشة هذا العمل.

في الاخير أتقدم بخالص وفائي وتقديري لكل يد إمتدت لمساعدتي .

قائمة المصطلحات

الراتنج..... .... Résine
البوراكس(البورق)..... ..... Borax
الصمغ العربي ..... Gomme arabique
وزهر الكافور.. ..... La Flores de Camphra
خيوط نباتية . ..... la fillasse
اللزوجة ..... la viscosité
زيت القسط الهندي ..... Huile de costus indien
زيت بذرة اليقطين (قرع العسل)..... ..... Huile de pépin de courge
زيت نبتة اكليل الجبل ..... Huile de romarin
زيت الخزامي ..... Huile de lavande
زيت الحرمل ..... Huile de harmale
زيت نبات الكتان ..... Huile de laine
العزل الحراري ..... Isolation thermique
الناقلية الحرارية ..... Conductivité de chaleur
الحقن .... Injection des résines
التقوية ..... la consolidations
رباعي الأوجه..... tétraèdre

قائمة المختصرات

M_0 …… Masse Humide

M_I …… Masse Sèche

M_V …… Masse Volumique

M_S……Masse sèche

$M_{(s+p)1}$…… Mase Sèche + Gommage sous l'eau

M_P …… Pois du Gommage

H_{moy} …… Humidité Moyenne

AB…… taux d'absorption de l'eau par la résine

$M_{V\ MOY}$ …… Masse Volumique Moyenne

UNESCO…….. Organisation Des Nations Unies Pour L'éducation , La Science Et La Culture

ICROM…… Conseil International Des Musées

ICOMOS…….. Conseil International Des Monuments Et Des Sites

مقدمة

تزخر الجزائر بتراث ثقافي متنوع ينتمي الى مختلف الحقب الزمنية وهذا بفضل موقعها الجغرافي الإستراتيجي الذي سمح لها أن تكون مركز استقطاب للحضارات الانسانية منذ العصور . ويعتبر هذا الارث همزة وصل بين الماضي والحاضر ويروي قصة الشعوب وإنجازاتها . وأصبح اليوم محل عدة دراسات منها ما تتعلق بتلفه ،صيانته وترميمه .

هذا التراث سواء كان كان منقول أو غير منقول فهو مشكل من مواد تسمح لنا بالإطلاع على الجوانب الحضارية والاقتصادية والاجتماعية للشعوب آنذاك ،بالإضافة الى معرفة الذوق الفني والجمالي للمجتمعات القديمة .

ونظرا لما تتعرض له تلك الشواهد الأثرية على اختلاف أشكالها وتنوع بيآتها من فعل مختلف عوامل التلف التى تؤثر على مقروئيتها واستقرارها ،في الوقت الذي برزت فيه عديد المواد الأثرية التي تحتاج صيانة و علاج ،وهذا كله تزامنا مع استفادة ميدان الصيانة من التطورات الحاصلة في مجال علوم التحليل(التحليلات المخبرية) ،التي أدت إلى الاهتمام أكثر بمادة الحجارة خاصة و المواد الأثرية عامة ،فأصبحت صيانة المواد تعتمد أكثر على الدراسات المخبرية التحليلية الأكثر تنوعا و تعقيدا ،كالسيليكونات و اللازر و تقنيات أخرى جد متطورة.

هذا العلم اليوم يعتمد أكثر من ذي قبل على مقاييس و مبادئ أساسية يجب مراعاتها في كل عمليات الصيانة و التدخل سواء على المعالم أو التحف الأثرية ،وبدءا من الفحص الأولي مرورا بالصيانة الوقائية ،وصولا إلى إمكانية الرجوع عن تلك التدخلات على المادة الأثرية.

كما تستدعي عمليات التدخل شروطا أساسية ،من بينها التطابق بين المواد المستعملة ،للوصول إلى نتائج جد مرضية.

توجد عدة **دوافع** جعلتنا نتطرق إلى هذا الموضوع ،من بينها أسباب ذاتية منبعثة من اهتمامنا بالحفاظ على هذه المواد و محيطها ،الأسباب الموضوعية فتتمثل في قلة الدراسات الأثرية إن لم نقل ندرتها حول موضوع الراتنجات و اللدائن الطبيعية و استعمالاتها منذ القدم.
كما **نهدف** من خلال هذه الدراسة إلى معرفة مصادر هذه الراتنجات في الطبيعة و استعمالاتها وكيفية الحصول عليها ،لذا فالإشكالية المطروحة هي كالأتي:
نظرا للقيمة الفنية التى تمثلها البقايا الاثرية ،ومختلف المواد الاثرية ،اضافتا الى حساسية وهشاشتها في بعض الاحيان كان لابد من استعمال مواد ترميم متطابقة مع المكونات الاساسية للأثر،لذا لما لا نستعمل مادة طبيعية مستعملة من ذي قبل ،معروفة النتائج وقابلة للنزع في حالة الحصول على علاج أثر نفعا ؟

- هل يمكن لهذه المواد الطبيعية أن تعوض المواد الصناعية ومن ثم العودة إلى استعمالها في علاج المواد الأثرية ،و الحصول على راتنجات طبيعية بنفس خصائص الراتنجات الصناعية و بنفس الفاعلية؟

و لمعالجة هذه الإشكالية قمنا بتقسيم موضوع البحث إلى مقدمة ،و أربعة فصول ،جاءت على النحو التالي:

الفصل الأول تطرقنا فيه إلى أهم المواد المستعملة في الصيانة و الترميم قديما ،و كذا المواد المستعملة في البناء ،إضافة إلى ذكر أنواع هذه المواد و تصنيفها حسب طبيعتها و استعمالاتها.

أما **الفصل الثاني** فعالجنا فيه آليات و أسباب تدهور المواد الأثرية ،و أهم الأسباب الداخلية و الخارجية المؤثرة على الخواص الفيزيوكيمياوية المكونة لهذه المواد ،و كذا العوامل البشرية و الطبيعية وعوامل التلف الميكانيكي.

و فيما يتعلق بال**فصل الثالث** فخصصناه لدراسة صيانة و علاج الشواهد الأثرية (كالحجارة ،والخزف) ،من خلال تحديد درجة التلف ،و المواد المكونة للمادة ،إضافة إلى ذكر أهم الراتنجات الصناعية المستعملة في الصيانة و الترميم.

أما **الفصل الرابع** و الأخير الذي تضمن الجانب التطبيقي ،حاولنا فيه تطبيق اللدائن الطبيعية في علاج المواد الأثرية ،من خلال تحضير عينات للراتنج الطبيعي ،و من ثم إختبارها وتعيين الخصائص الفيزيائية لهذه العينات والقيام بمقارنتها بالراتنجات الصناعية ،و هذا من خلال القيام بقياس الرطوبة ،و الكتلة الحجمية الظاهرية للراتنجات ،و كذا حساب درجة الحموضة (pH) للراتنج بالإضافة إلى ذلك قياس التمدد و التقلص.

توصلت في نهاية هذا البحث الى خاتمة وهي عبارة عن حوصلة لأهم النتائج التى توصلت اليها من خلال دراستي لهذا الموضوع .

الجانب النظري

الفصل الأول

عموميات حول المواد المستعملة في الآثار

(الحجارة والخزف)

1- مدخل إلى الصخور:

تشكل الصخور الموجودة في الطبيعة مادة البناء الرئيسية التي تتكون منها القشرة الأرضية والتي استخدمها الإنسان عبر عصور التاريخ المختلفة في أغراض البناء المتعددة ،و يمكن القول أنّ أنواع الصخور هي حجارة تم استخراجها من المحاجر بأحجام منتظمة لاستخدامها في شتى أغراض البناء و إقامة الطرق ،و في هذه الحالة يطلق عليها مصطلح الحجر المقتطع ذي الأبعاد المنتظمة،والتاريخ الجيولوجي لهذه الصخور ،سواء الموجودة فوق القشرة الأرضية أو التي لا تزال أسفل هذه القشرة ضاربة في القدم ،فربما يبلغ عمرها أكثر من 3.800 م سنة[1].

1-1- تكوّن الصخور :

لقد كانت هذه الصخور أثناء فترة التكوين الأولي عبارة عن مواد[2] معدنية منصهرة أخذت تبرد بالتدرج إلى أن شكلت القشرة الصلبة،والتي تعرضت بدورها إلى عوامل التعرية مثل الأمطار و الرياح ،الحرارة و الرطوبة التي تسببت في تكسير صخور هذه القشرة و تفتيت الكثير من أجزائها إلى حبيبات معدنية مختلفة الحجم ،و التي حملت بعيدا عن موطنها الأصلي بواسطة عوامل النقل[3] مثل الأمطار و المياه الجارية و الرياح ،و نقلها إلى أماكن أخرى حيث هبطت و ترسبت و تجمعت إلى جوار بعضها ،بمساعدة العوامل و المواد المعدنية الموجودة في الأماكن التي نقلت إليها الحبيبات التصقت هذه الحبيبات المعدنية مع بعضها بمواد رابطة مختلفة سواء أكانت روابط كربوناتية أو أكاسيد حديد أو معادن طفلية و تكونت في النهاية الصخور الرسوبية ،و الكثير من هذه الصخور تعرضت لإعادة الانصهار و تفتتت الحبيبات إلى أن

[1] عبد الهادي محمد ،دراسات علمية في ترميم و صيانة الآثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة 1995 ،ص.72.

[2] محمد راتب عطاس ،أندراوس مسعود ،مواء البناء و اختيارها ،ديوان المطبوعات الجامعية ،بن عكنون ،الجزائر ،1992. ص.38-40

[3] أد عبد اللطيف يوسف الغنيم ،الموسوعة الجيولوجية ،ط 1، ج2 ،دار النشر و التوزيع ،الكويت ، 1998،ص 210.

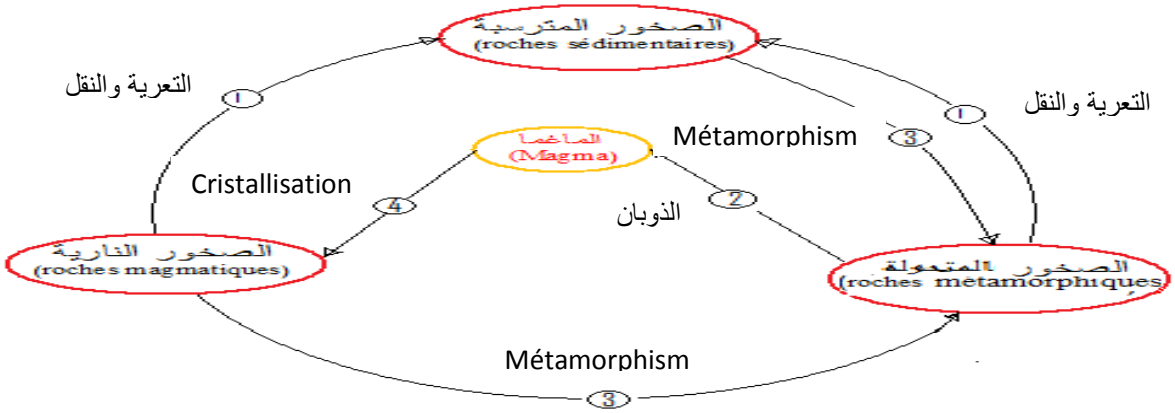
وصلت إلى مرحلة التصلد و تماسك الحبيبات كما أنّ الكثير من هذه الصخور تعرضت لعوامل أدت إلى تغيرات طبيعية لحبيباتها المعدنية و تكونت في النهاية الصخور المتحولة و

هي عوامل الضغط و الانفعالات و الحرارة العالية و التغيرات الكيميائية التي استطاعت أن تغير شكل و طبيعة الصخور الرسوبية و النارية و تحولها إلى صخور ميكانيكية التحول .

و الصخور على اختلاف أنواعها نارية أو رسوبية أو متحولة تحتوي على مجموعة من المعادن بنسب مختلفة ،وهذا حسب أنواع الصخور و المعادن عبارة عن مواد طبيعية غير عضوية ذات أشكال بلورية منتظمة تميز كل معدن عن غيره من المعادن .

2-1 تعريف الصخور:

هي الجزء الصلب و القوي من الأرض ،و في مناطق عدة يغطى الصخر بطبقة من التربة تنمو فيها النباتات أو الأشجار والتربة نفسها تكون من حبيبات صخرية دقيقة معدنية ونسب[4] من معادن أخرى ثانوية،مثال ذلك البازالت و الجرانيت وتختلف الصخورالمكونة للقشرة الأرضية اختلافا كبيرا حسب ظروف النشأة ،ولكنها بصفة عامة تندرج تحت ثلاث أقسام هي:

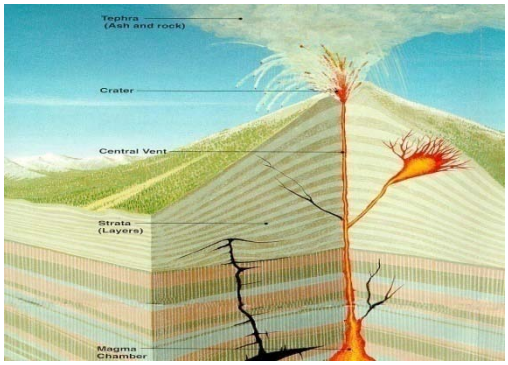


الشكل رقم (01): دورة الصخور في الطبيعة

4- DJEBBAR TIAB and ERLE C. Donaldson , theory and practice of measuring, reservoir rock and fluid transport properties, imprint of Elsevier, USA ,2004 ,p 37 .

1-3- أنواع الصخور

1-3-1 الصخور النارية



الشكل رقم(02) : يوضح تكون الصخور في باطن الأرض[6]

تتكون بباطن الأرض من مواد منصهرة ،في ثنايا الحرارة الأرضية أو من خلال مناطق الضعف في القشرة الأرضية أو عند حدوث البراكين تندفع هذه المواد المنصهرة التي يطلق عليها اسم "الماغما"[5] كما هو موضح في الشكل (02)إلى الطبقات السطحية من القشرة الأرضية ،وعندما تتجمد يتكون منها ما يعرف بالصخور النارية و الحقيقة أن معظم الصخور النارية يحدث تكوينها داخل القشرة الأرضية ،ثم تظهر على سطح الأرض بفعل عوامل التعرية أو أثناء حركة طبقات الأرض.

و تنقسم الصخور التي تتكون عند التجمد الماغما إلى قسمين و هما :

- الصخور البركانية أو الخارجية.
- الصخور البلوتينيةأو الداخــلية.

[5] **أد. عبد اللطيف يوسف الغنيم ،المرجع السابق. ص 222.**

[6] **الموسوعة العالمية ويكيبيديا ، تكون الصخور في باطن الارض .2012.**

و تتكون الماغما المنصهرة من عناصر ثمانية أساسية :

الأكسجين ،السيليكون ،الألومينيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم ،البوتاسيوم و المغنزيوم.بالإضافة إلى نسب صغيرة متفاوتة من باقي العناصر،و يؤدي تبلور المعادن من الماغما التي تركز العناصر النادرة و العناصر الموجودة بنسب صغيرة و بعض المواد المتطايرة في الجزء الذي يظل منصهرا أو سائلا من الماغما و لذالك فإنه ينسج من الماجما بجانب الصخور النارية العروق المعدنية التي تتكون في الشروخ الموجودة بالقشرة الأرضية و الينابيع .

وتنقسم المكونات المعدنية للصخور النارية إلى معادن فاتحة اللون و تشمل الكوارتز و سيليكات الألومونيوم وعناصر كالصوديوم أو البوتاسيوم أو الكالسيوم و معادن قاتمة اللون .وتشمل مجموعة من المعادن كسيلكات الألومونيوم[7] وعناصر الحديد و الماغنسيوم و يعتبر التركيب المعدني للصخور النارية بسيطا ،حيث أنها تتكون من سبع مجموعات من معادن أساسية ،و هي:

- مجموعات الكوارتز أو السيلكا .
- مجموعات الفلسبار.
- مجموعات البيروكسين.
- مجموعات الهورنيلن
- مجموعات البيوتين أو الميليا.
- مجموعات الأولفين.

و الجدير بالملاحظة أن المجموعات السبعة المذكورة لا يمكن أن تتواجد في نفس الصخور بل أن البعض منها لا يمكن أن يتواجد مع البعض الأخر[8].وأحيانا تتكون الصخور النارية بصفة أساسية من مجموعة واحدة مع وجود نسب صغيرة من المجموعات الأخرى .

[7] د عبد الهادي محمد ،صيانة وترميم الآثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة. ص 2.
[8] عبد المعز شاهين ،ترميم وصيانة المباني الأثرية والتاريخية ، مطابع المجلس الأعلى للآثار،القاهرة. 1994. ص43.

و لقد أثبتت الدراسات التحليلية لأكثر من 100 عينة[9] من الصخور النارية أن المتوسط التركيبي لهذه الصخور هو:

12 % من الكوارتز.

60% من الفلسبار.

16 % من البيروكسين.

40% من البيوتن .

تنقسم الصخور النارية تبعا لنسبة وجود السيليس بها إلى نوعين: صخور نارية حمضية و صخور نارية قاعدية ويعد الجرانيت على سبيل المثال من الصخور النارية الحمضية إذ يحتوي على أكثر من 66% من السيليكا ،كما يعد البازالت من الصخور النارية القاعدية إذ يحتوي على أقل من 52% من السيليكا ،و بينهما توجد أنواع كثيرة من الصخور النارية التي تختلف في تركيبها المعدني و خواصها.

1-3-2- الصخور الرسوبية :

تنشأ الظروف التي تتكون فيها الصخور الرسوبية نتيجة للفعل المتبادل بين الغلاف الجوي و الغلاف المائي من جهة و القشرة الأرضية من جهة أخرى ،وعندما تتعرض الصخور النارية لفعل الرياح و المياه فإنها تتحول إلى حبيبات صغيرة[10] خاصة أنها بطبيعتها أقل ثباتا في مواجهة الظروف السائدة على سطح الأرض لكونها نشأة أصلا عند درجات حرارة مرتفعة وأحيانا تحت ضغط عالي.

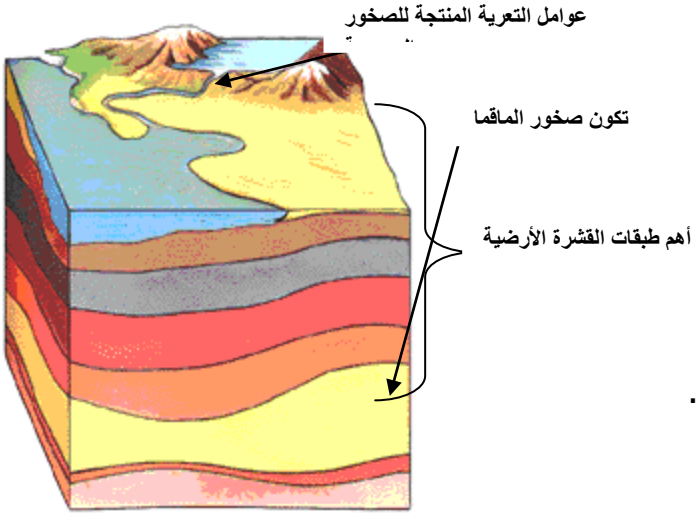
[9]أد عبد اللطيف يوسف الغنيم ،المرجع السابق ،ص 210.
[10]عبد المعز شاهين،نفس المرجع ،ص 44.

و نظرا لأن فعل الرياح و المياه ينطوي على عاملين،أحدهما ميكانيكي و الأخر كيميائي ،فإن الصخور الرسوبية تكوّن عادة طبقات غير متجانسة إلى حد كبير في مكوناتها المعدنية و خواصها الطبيعية و تركيباتها الجيولوجية.

و تبعا لظروف الترسيب فإنه يمكن تقسيم الصخور الرسوبية إلى قسمين رأسيين:

1-2-3-1- الصخور الرسوبية التي تكونت ميكانيكيا :

تشمل الصخور الرسوبية التي تكونت من المعادن الأولية التي قاومت عمليات التحول حيث حملتها الرياح ثم ترسبت دون حدوث تغير في تركيبها الكيميائي أو البلوري،ومن أمثلتها الرمال و الحجر الرملي و كذالك الصخور الرسوبية التي تكونت من المعادن[11] التي جرفتها المياه بطريقة ميكانيكية ثم ترسبت عندما قلة مقدرة المياه على العمل ومن أمثلتها الطفلة الرواسب الطينية.



الشكل رقم (03): يمثل كيفية تشكل الصخور داخل الأرض[12]

جدول رقم(01) التركيبة الكيميائية الوسطية للصخور الغرانيتية.

أكاسيد	SiO_2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O
التركيز%	69.1	14.50	1.7	2.2	0.1	1.1	2.6	3.6	3.8

[11]-- DJEBBAR TIAB and ERLE C. DONALDSON .opcit. p29.

[12] الموسوعة العالمية ويكيبيديا ،المرجع السابق .

1-3-2-2- الصخور الرسوبية التي تكونت كيميائيا :

أ- الترسيبات المائية :

عندما تذيب المياه بعض المكونات المعدنية للصخور النارية و تحملها في صورة محاليل ،فإنّه يحدث عادة أن تترسب في الشقوق و الصخور أو بين طبقات الصخور الموجودة في القشرة الأرضية مكونة نوعا مميزا من الصخور الرسوبية يمثل أهمية كبيرة من الناحية الاقتصادية و المعدنية،ومن الأمثلة ذلك سليكات الحديد ،و البوكسيت و الأوبال.

ب- الأكاسيد:

تكون ظروف الترسيب بصفة عامة مؤكسدة نتيجة لوجود الأكسجين سواء في الجو أو في المياه ،و نتيجة لذلك توجد بعض الصخور الرسوبية على صورة أكاسيد مثال ذلك أكاسيد الحديد و المنجنيز[13].

ج- الترسيبات الإختزالية :

و تشمل جميع خامات الكبريتات و رواسب الكبريت و الفحم و البترول.

د- الترسيبات البحرية:

نتيجة لتغيير معدل الحمض الهيدروجيني **(ph)** لمياه البحار و المحيطات يترسب ما تحمله من المركبات الكربونية و الفوسفاتية[14] و يحدث أن يترسب معها بعض مخلفات الكائنات

[13]- عبد الهادي محمد، المرجع السابق ، ص25.

[14]- محمد راتب عطاس، أندراوس مسعود، المرجع السابق . ص 41

البحرية ،شاهدا على النشأة البحرية لهذه الصخور،مثال ذلك الحجر الجيري و الدولوميت و الأرجوانيت و خامات الفوسفات.

هـ - الترسيبات التبخرية:

و تشمل الترسيبات التبخرية ترسيبات الأملاح المعدنية على اختلاف أنواعها و كمثال على ذلك الأملاح البحرية (كلوريد الماغنيزيوم و كلوريد الصوديوم و كبريتات الصوديوم) و الأملاح الغير بحرية مثل : (كلوريد البوتاسيوم و كربونات الصوديوم).

1-4-3- الصخور المتحولة :

تشمل الظروف التي تتكون فيها الصخور المتحولة مجموعة العمليات التي تنشط بعيدا عن مناطق التعرية ،و هي عادة تتكون بارتفاع كبير في درجة الحرارة و الضغط ،مما يؤدي إلى تحول هذه المعادن إلى معادن أخرى أكثر ثباتا و ملائمة للظروف ،(30°م)ومع كل زيادة في العمق بمقدار كيلومتر واحد تزداد الحرارة في المناطق المجاورة لصخور الماجما النشطة. أما الزيادة في الضغط فإنها تحدث إما بسبب الزيادة في العمق أو بفعل الحركات الأرضية الجانبية. و نجد أنّ الصخور التي تتعرض لفعل الضغوط المتساوية التي تصاحب الزيادة في العمق تتميز بتركيب حبيبي غير مرتب ووجود معادن عالية الكثافة ،أما الصخور التي تتعرض للضغوط الجانبية أو المواجهة التي تصاحب الحركات الأرضية ،فإنّها تتميز بتركيب طبقي أو صفائحي وبصفة عامة فإنّه يمكن تقسيم الظروف التي تتكون تحتها الصخور المتحولة إلى نوعين أساسيين هما:

1-4-3-1- التحول على نطاق مناطق واسعة:

يتم التحول في هذه الحالة على نطاق مناطق شاسعة قد تبلغ آلاف الأميال و تتميز الصخور المتحولة التي تكونت بهذه الطريقة بالتجانس في التركيب المعدني و الكيميائي ،و أمثلة هذا النوع من الصخور المتحولة و مكوناتها المعدنية هي:

الصورة رقم 1 : ازوريتوملاخيت[15]

أ- معادن الكلوريت و البيوتيت و الكيانيت:

و تتكون هذه المعادن نتيجة لتحول الرواسب الطفيلية.

- **صخور النيس و الشست:**

تتميز بالتركيب الصفائحي التبادلي السميك بين المعادن الأساسية الفاتحة اللون مثل معادن سليكات الحديد و الماغنيسيوم...الخ . و توجد أنواع أخرى من صخور الشستوالنيستتميز بالتركيب الصفائحي الدقيق مع وجود صفائح واضحة من معادن الميكا و الكلوريت ،و في هذه الحالة فإنّ هذه الصخور تسمى بأسماء هذه المعادن مثل : الشيستالبوتيني و الشيستالكلوريتي.

- **صخور الأردواز:** تتكون نتيجة لتحول الصخور ذات الحبيبات الدقيقة عندما تتعرض لتأثير ضغط قوي منظم .

الصورة رقم (02)تورمالي[16]

- **حجر الرخام**

يتكون من تحول الأحجار الجيرية الدلوميتية.

- **صخور الكوارتزيت**

تتكون نتيجة تحول الحجر الرملي الخالص.

[15] الموسوعة العربية العالمية ،2004

[16] الموسوعة العربية العالمية نفس المرجع .

2- أهم المواد المستعملة قديما:

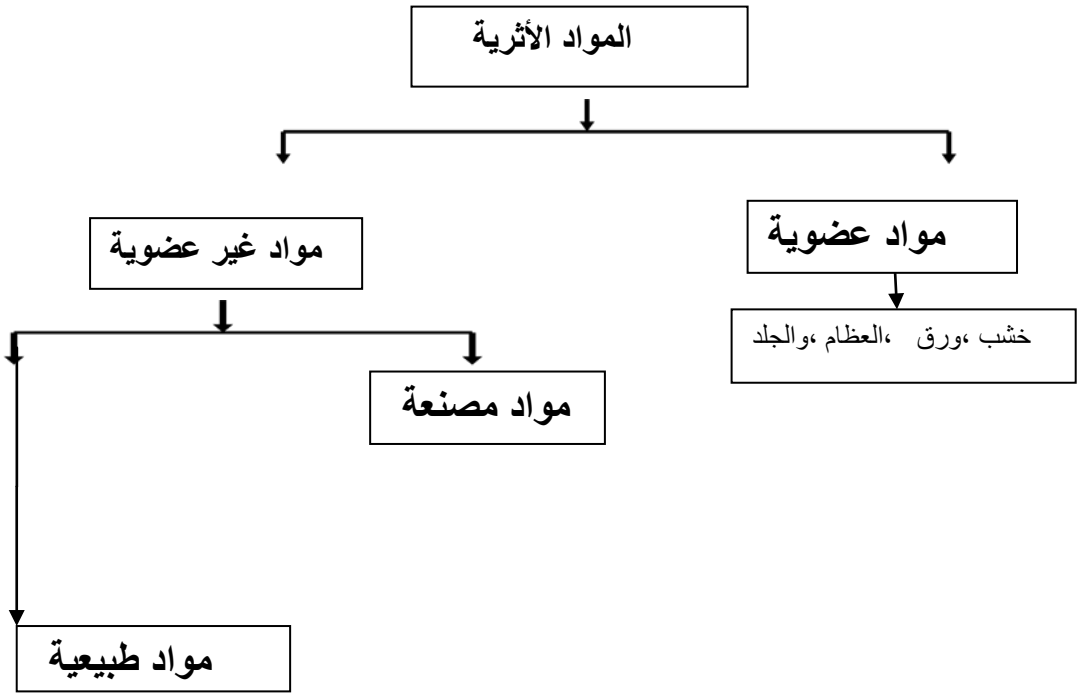
لقد كان تأثير البيئة واضحا على مختلف الحضارات ،فمن خلال ملاحظة تطور مختلف الفنون المعمارية و تنوع تفاصيلها ،نجد تأثير البيئة في هذه الحضارات،و قد تميزت الطرز المعمارية في الحضارات القديمة بارتباطها بالخصائص المناخية و الموقع الجغرافي و التكوينات الجيولوجية و المعتقدات الدينية و لهذا نجد أنّ لمواد البناء المتوفرة في بيئة ما أثر

واضح في الأشكال المعمارية التي سادت في هذه البيئة ،حتى أنّه يقال أنّ استبدال مادة البناء بأخرى يقتضي عادة تعديل طراز البناء و لا يكون البناء جميلا متكاملا إلا إذا كان توافق وتوافق بين المادة التي المستعملة و المادة الاصلية ،ومنذ القديم كانت مواد البناء مما كان ينمو في البيئة المحلية من أغصان النباتات من البردى و الغاب و من فروع الشجر و قد وجد القدماء مواد مناسبة لإقامة أكواخهم البدائية بما كان يوائم احتياجاتهم و ما كانوا يملكون من أدوات.

وقد ظلت قوالب اللبن المنتظمة [17]الشكل و ما تزال مستخدمة في بناء البيوت و القصور و أسوار المدن و بعض المعادن خلال العصور التاريخية نفسها ،كما كان الملاط في المباني من اللبن هو الطين ،و هو أصلح المواد لهذا الغرض ،و لا يزال يستخدم اللبن في المباني حتى الوقت الحاضر،و كانت الجدران من الطين تطلى أيضا بطلاء من طين ،و كان هناك نوعين : نوع خشن يتكون من طمي الوديان العادي[18] ،و نوع جيّد يتكون من خليط من طين دقيق الحبيبات و حجر جيري كان يؤخذ من حبوب سفح الهضاب.

[17] عزت زكي حامد قادوس ،علم الآثار والحفائر وفن المتاحف ،الإسكندرية ،2005 .ص 191.
[18] المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ،صيانة التراث الحضاري ،تونس 1990 ص 98.

يمكن إرجاع سبب تنوع هذه المواد المستعملة إلى عدة عوامل أهمها : درجة الحرارة،المناخ و درجة تحضر الشعب و نوع المواد التي يمكن الحصول عليها ،ومجمل هذه المواد ملخصة في الشكل رقم (04).



الشكل رقم 04 : يبين أهم المواد المستعملة .

2-1- طبيعة المواد المستعملة:

يمكن تقسيم المواد الأثرية بعدّة طرق و أنواع و هذا حسب قواعد و أغراض متنوعة،و لكل تقسيم فائدته و له شكله المنطقي،حيث تضم الآثار مواد متباينة الأصول و الخواص مما يجعل من كل مادة أثرية حالة خاصة في تفاعلاتها مع البيئة .

و من التقسيمات نجد المنقولة و الثابتة و ذلك حسب المنشآت الأثرية مقارنة بالآثار المنقولة صغيرة سهلة النقل و التناول[19] ،و هو تقسيم أولي للمواد الأثرية،و هناك تقسيم أخر للمواد الأثرية على أساس مادة صنعها،وهو تقسيم إلى مواد عضوية[20] و مواد غير عضوية ،وهناك تقسيم ثالث يعتمد على تركيبة هذه المواد :

مواد سليكاتية (مشتقة من معادن القشرة الأرضية التي تحتوي على 28% من تركيبها هو سيليكا) و فلزات و مواد عضوية ،ويعتبر هذا التقسيم موضوعيا إلى حد بعيد فهو يركز على المادة التي يتركب منها الآثار أساسا ،و إن كان هذا التقسيم يتسع أحيانا ليشمل مواد متباينة الخواص مما يجعله على الرغم من موضوعيته يختلف عمّا قد يصادفه المختص في العمل الميداني.

[19] المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ،المرجع السابق ،ص 56 .

[20] Patinot jean Claude ,la conservation du mobilier archéologique .rapport de synthèse.1998 .p12.

2-1-1- المواد الأثرية غير العضوية و المسامية:

و هي مواد تحتوي في بنيتها على عدد لا حصرا له من المسام المرتبطة ببعضها البعض ،و التي تسمح بحركة و سير الماء و الهواء[21]ومكونات أخرى كالأملاح الذائبة أو الغازات الضارة ،و تمثل المسامية الخاصية الأساسية المؤثرة في آلية تلف هذه المواد أهمها:

2-1-1-1- الفخار:

يعتبر من أهم وأقدم ما صنعه الإنسان ،وهو نشاط تشترك فيه جميع الحضارات و المستويات الاجتماعية على اختلاف جودة الصناعة و رقى الزخارف مما جعل للفخار أهمية تاريخية في أعمال المسح الأثري و أعمال التنقيب والتأريخ [22].

2-1-1-2- الحجر الجيري:

هي مادة نحصل عليها من الطبيعة ،وبعد تهذيبها و تطويعها تصبح صالحة للبناء (بعد الحرق). و من المكونات الأساسية للحجر الجيري[23] نجد كربونات الكالسيوم و من آليات تلف الحجارة الجيرية نجد المسامية التي تسمح بمرور محاليل ملحية و وصوله إلى داخل البنية

[21] محمد فهمي عبد الوهاب ،دراسات نظرية في حقل الفنون وطرق ومواد الترميم الحديثة ،دار النشر الشروق ،القاهرة . ص 59 .

[22]PAUL philipot, conservation des antiquités et des œuvres d'arts, édition Seyroles, boulevards Saint-Germain – Paris, 1966. p 61.

[23]Conseil International Des monuments et des sites (ICOMOS), la conservation préventive de la pierre .bibliothèque UNESCO . imprimeries populaire arts graphique Genève, 1982 p 35.

2-1-2 - المواد الأثرية العضوية:

وهي المواد التي تعود إلى أصل حيواني أو نباتي[24] ،و بشكل دقيق المواد العضوية هي المواد التي يكون تركيبها مبني على الكربون أساسا.

بالنسبة للمواد المشتقة من أصل نباتي نجد من بينها الأخشاب بأنواعها ،ولفائف ورق البردي والمنسوجات الكتانية.

أمّا المواد التي تعود إلى أصل حيواني نجد منها الجلود و المنسوجات الصوفية ،الريش...إلخ و تدخل هذه المواد في المواد العضوية الأكثر تعرضا للتلف،إذ تعد المسامية الزائدة من الخصائص التي تتصف بها هذه المواد العضوية ومن مميزاتها أيضا أنّها:

مواد هيدروسكوبية و هي خاصية تجعل هذه المواد تفقد الرطوبة[25] أو تكتسبها لتحقيق الاتزان مع البيئة المحيطة بها ،فإذا كانت في بيئة جافة تناقص محتواها المائي حتى تصل إلى حالة الاتزان و إذا كانت الرطوبة النسبية للبيئة المحيطة مرتفعة تمتص المادة الهيدروسكوبية الماء

والنتيجة أنها تؤدي إلى هشاشة المادة و تشققها ثم الانكماش ،أما امتصاص الماء فيؤدي إلى زيادة النشاط الحيوي الدقيق[26] و ما ينتج عنه من مظاهر التلف.بالإضافة إلى الخاصية الهيدروسكوبية ،تمتاز هذه المواد بصلاحيتها و استخدامها كمادة غذائية ،فهي تعتبر كغذاء للأحياء الدقيقة،و يعد أفضل تقسيم يمكن اعتماده،الذي يقسم المواد الأثرية إلى : آثار عضوية و آثار غير عضوية مسامية و آثار معدنية (فلزّية) و زجاج ،و هو تقسيم يركز على الخاصية المؤثرة في تلف المادة أثناء الدفن و فور التعريض.

[24] PAUL PHILIPPOT ibid . p 69 .

[25] Patinot Jean Claude , opcit p 85

[26] عبد المعز شاهين، نفس المرجع ص 65 .

3- مواد البناء :

و قد أشرنا فيما سبق إلى أن القدامى قد استعمل أعواد نبات البردي[27] و الغاب و السمار و فروع الأشجار في إقامة أكواخهم البدائية ،و أنهم في مرحلة تالية استعملوا الطين في إقامة عمائر الطوب اللين ،و بعد ما تمكنوا من قطع الحجارة أصبحوا يستعملون الحجارة المصقولة. في ما يلي سنستعرض أهم المواد الأثرية المستعملة في البناء :

3-1- الطوب :

و هو عبارة عن كتلة بنائية مستطيلة الشكل و مصنوعة من الطين أو الطفلة أو مواد مختلفة أخرى ،و الطوب مادة قوية و صلبة مقاومة للحريق و التلف الناجم عن تقلب الظروف المناخية،و تستخدم مادة الطوب في بناء المنشآت ،مثل المنازل و المباني.

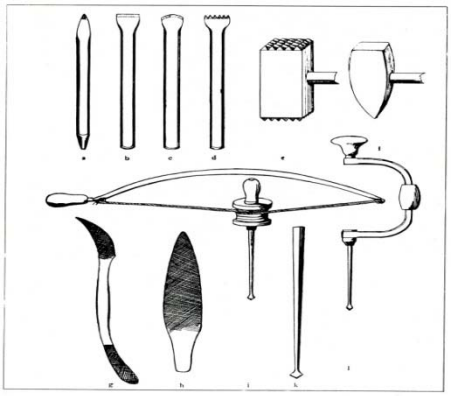
إن الطوب كما هو الحال في أيامنا يصنع من طمي الأنهار الذي تتكون منه جميع الأراضي الزراعية ،و هو خليط من الطين و الرمل يحتوي على كمية قليلة من المواد العضوية[28]. و تختلف نسبة مكوناته الأساسية (الطين و الرمل) باختلاف أماكن وجوده و على كمية الطفلة تتوقف خاصية اللدونة و التماسك في الطين ،فعندما تكون النسبة المئوية للطفل عالية فإن الطين يتماسك دون الحاجة إلى إضافة أية مادة رابطة ،فإذا زادت نسبة الطفلة في الطين عن الحد اللازم المناسب فإن الطين لا يكون وافيا بالغرض.

---

[27] عبد المعز شاهين ،المرجع السابق ، ص 42 .

[28] محمد عبد الهادي محمد – مبادئ الترميم وصيانة الآثار الغير العضوية – كلية الآثار ،القاهرة 1996 ص 82.

2-3- الحجارة:



الشكل رقم (06) بعض الأدوات المستعملة في قلع الحجارة

على الرغم من أن القدماء قد استعملوا الكتل الحجرية البدائية التي انفصلت من الجرف بفعل عوامل طبيعية ،منذ العصور الأولى و قد استعملت هذه الحجارة في صنع المواد و الأواني الحجرية و الأشياء الأخرى الصغيرة الأخرى ،في أغراض البناء قبل صناعة[29] الأدوات النحاسية التي استخدمها القدماء في قطع وكذا نحت الحجارة. و كمدخل للحديث عن أهم الحجارة التي استخدمت في البناء منذ القديم ،و هي الحجر الجيري و الحجر الرملي والجرانيت الذي استخدم بقدر أقل كثيرا ،و من ثم المرمر الذي كان يستعمل من وقت لآخر،والبازالت و الكوارتزيت . حتى نفهم مقومات تكوينها و خواص مادتها فقد اشرنا في بداية هذا الفصل إلى بعض الأسس العلمية التي تبين نشأة هذه المواد .

1-2-3 - الحجر الجيري:

يتكون الحجر الجيري بصفة عامة و أساسية من كربونات الكالسيوم (كربونات الجير)مع نسب صغيرة متغيرة من موارد أخرى مثل السيليكا و الطفل و أكسيد الحديد و كربونات المغنيسيوم و تتباين الأنواع المختلفة من الحجر الجيري تباينا كبيرا في درجة الصلابة .

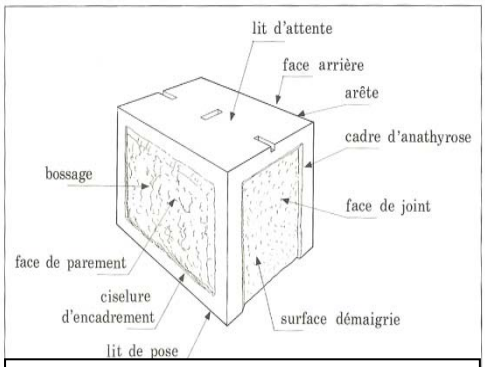
32عبد المعز شاهين ،نفس المرجع ،ص.41

لقد استعمل الحجر الجيري بكثرة قديما في بناء المقابر و المعابد و معظم الأحجار الجيرية رمادية اللون ،إلا أنّه وجدت أحجار جيرية ذات ألوان تتفاوت من الأبيض و الأسود. معظم المياه العذبة و مياه البحر تحتوي على كربونات الكالسيوم المذابة و تنفصل عن المحلول. يتم التبلور بطرق مختلفة بحيث ينتج عن كل طريقة نوع من الحجر الجيري. إلا أنّ هذه الأنواع المختلفة يمكن تقسيمها إلى فئتين:

و تشمل الفئة الأولى الأحجار الجيرية التي تكونت كليا تقريبا دون تدخل من الكائنات الحية ،و تنفصل هذه الأنواع عن المحلول بالضرورة عندما يتبخر الماء ،و ينتج عن هذا التبخر في البحيرات كثيرة الأعشاب المرجانية التي تكون ساخنة و ضحلة و في كثير من البحار الاستوائية الملحة حيث تتبخر المياه السطحية و طبقات مترسبة و يعد الطباشير حجر جيري .

وتشمل الفئة الأخرى من الحجارة الجيرية التي تكونت بفعل تحجر الكائنات الحية ،حيث تقوم كثير من الحيوانات و بعض النباتات البحرية بامتصاص كربونات الكالسيوم من الماء ،و تستعملها في بناء قواقعها و عظامها. كما تفعل الرخويات البحرية و السمك الصدفي و الحلزون و الحيوانات المرجانية.

هذا ويعد الحجر الجيري حجرا ممتازا لسهولة نحته و إمكانية قطعه في أي اتجاه كالحجر الرملي دون أن يتشقق و لهذا السبب كثيرا ما يسمى كل من الحجر الجيري و الرملي الحجر السيليسي.



الشكل رقم (07) الحجارة المصقولة

3-2-2- الحجر الرملي:

يتكون الحجر الرملي بصفة أساسية من رمـــــل الكوارتز الناشئ عن تفكك الصخور[30] الأقـــــــدم عهدا منه ملتصقا ببعضه البعض بفعل نسب صغيرة جدا من الطفلة و كربونات الكالسيوم و أكسيد الحديد أو السيليكا و تتكون أساسا مــن رمال التصقت ببعضها البعض عن طريق الضغط أو بواسطة المعادن ،يحتوي الرمل عادة على المرو و الفلسبات[31] و معادن أخرى ،و يحتوي أيضا على مواد عضوية و أجزاء من الصخور و تشمل المعادن التي تؤدي إلى التصاق حبات الرمل المرّو و يتراوح لون الحجر الرملي بين الأصفر الباهت و الرمادي و الأحمر الأسمر و الأبيض،و يتحدد لونه وفقا لدرجة وجود الإسمنت و المواد الأخرى غير النقية في الرمل كما انه سهل في معالجته،و استخدامه،ويستعمل قي الأغراض نفسها التي يستخدم فيها الحجر الجيري ،وربما يعتبر الحجر الرملي المسلط جيدا بالسيلكا أكثر متانة و مقاومة لظروف الطقس عند مقارنته بمعظم حجارة البناء الأخرى.

الصورة رقم (3) حجر الجرانيت

[30] عبد الهادي محمد، نفس المرجع ص 66.
[31] الموسوعة العربية العالمية 2004 .

3-2-3 - الجرانيت :

يطلق اسم الجرانيت على طائفة كبيرة من الأحجار المتبلورة البركانية الأصل[32] و رغم أنّ حجر الجرانيت غير متجانسة في تركيبها إلا أنّها تتكون في جملتها من معادن مختلفة

لا سيما الكوارتز و الفلسبات و الميكا البيوتينية و الهورنيلند في بعض الأحيان والأرجوانيت أحيانا أخرى،و من الخصائص المميزة للجرانيت وفرة معدن الكواتز به ،و يمكن بالعين المجردة مشاهدة أهم مكوناته المعدنية.

ويعد الجرانيت صخر صلب يتشكل أساسا من ثلاثة معادن: المرو و سليكا الألمنيوم الفلوي و البلاجيوكلاز حيث تجعل هذه المعادن الجرانيت أبيض أو زهزيا أو رماديا فاتحا. يحتوي الجرانيت أيضا على كميات قليلة من المعادن البنية الداكنة أو الخضراء الداكنة أو السوداء مثل الميكا الهورنيلند و البيوتين. و تتميز حبيبات المعادن في الجرانيت بالضخامة بحيث يمكن التفريق بينها بسهولة و يبلغ عرض كثير من الذرات 0.5سم.

كما يصنف الجيولوجيون الجرانيت[33] على أنّه صخر ناري ،و النتيجة أنّ معظم الجرانيت تكوّن بواسطة تبلور الصهارة بالتبريد الباطني ،و الصهارة لها دور في تكوين الجرانيت الكيميائي نفسه و نتيجة من انصهار الصخور على مسافة تتراوح بين 25 و 40 كلم تحت اليابسة.

[32]ERIK FLUGEL .microfacies of carbonate rocks pringer institute of paleontology loewenichstrasse .Germany. p 07

[33] أد عبد اللطيف يوسف الغنيم ،نفس المرجع .ص 78 .

3-2-4- المرمر:

اسم لمعدنين لهما تركيبتان كيميائيتان مختلفتان،و كلاهما متشابهان يستعملان لأغراض الحلي. تشير كلمة المرمر إلى نوع خاص من الجبس ،و هو معدن هش يتكون من كبريتات الكالسيوم و الماء ،و المرمر مجموعة من الحبيبات البيضاء الدقيقة من مادة الجس،و هي مادة لها فائدتها في أعمال النحت ،إذ أنّها لا تحتاج إلى أدوات خاصة لتشكيل الأجسام المطلوبة ،إلا أنّ الحجر الذي استخدم بكثرة قديما و الذي يسمى أيضا مرمرا[34]،هو من مادة مختلفة تمام و هو كبير القيمة مقارنة بالنوع الأول من حيث المظهر،غير أنّه يختلف عنه من حيث التركيب الكيميائي ،إذ يتكون من كربونات الكالسيوم المتبلورة ،و هي ما يطلق عليها اسم معدن الكالسيت (Calcite) و إن كان يسمى خطأ في بعض الأحيان أرجوانيت (arogonite)الأرجوانيت فإن له نفس تركيب الكالسيت الكيميائي ،غير أنّه يختلف عنه من حيث شكل البلورات و الثقل النوعي.

3-2-5-البازالت:

صخر أسود ثقيل مندمج تبدو فيه غالبا جسيمات دقيقة براقة،و هو يتكون من مجموعة من المعادن تكون بلوراتها في البازلت الحقيقي من الدقة بحيث لا يمكن تمييزها بعضها عن بعض إلا بالمجهر أما أنواعه الأكثر خشونة و التي يمكن التعرف على مفردات مكوناتها المعدنية بالعين المجردة فهي الدولريت ،على انّه ليس هناك حد فاصل بين هذين النوعين تفريقا تاما.أما البازالت ذو الحبيبات الخشنة كما يقول الفريد لوكاس الدولريت[35] دقيق الحبيبات. و على العموم فإنّ البازلت مادة صخرية بركانية صلدة سوداء تتكون من الحمم التي تخرج من

[34] **عزت زكي حامد قادوس ،نفس المرجع. ص 87 .**

[35] - المنظمة **العربية للتربية والثقافة والعلوم ،نفس المرجع ص 123 .**

البراكين أو من شقوق الأرض و بعدها تصبح صلبة،و هناك أنواع كثيرة من البازلت تتشابه جميعها في تركيبها الكيميائي. و لكنها تختلف في درجة تبلوره.

3-2-6- الكوارتزيت

الصورة رقم (04) الكوارتزيت*

الكوارتزيت نوع مندمج من الحجر الرملي ،و هو يتكون أساسا من حبيبات الرمل المترابطة بالسيليكا الدقيقة ،أي أنّه حجر رملي سيليسي و الكوارتزيت يتباين كثيرا في اللون و المظهر،فقد يكون دقيق الحبيبات أو خشنا. كما يعرف الكوارتزيت بتسمية "المرو"،و هو معدن مألوف يوجد في العديد من الصخور و المرو الخالص شفاف و لا لون له ويتألف من ثاني أكسيد السيليكون ،و له الصيغة الكيميائية (SiO_2) و للمرو العديد من الاستخدامات المهمة في العلم و الصناعة ،وهناك العديد من أنواع المرو ،غالبا ما يقسمها الجيولوجيون إلى مجموعتين عامتين ،هما الخشنة التبلور والخفية التبلور،أما الأشكال الخشنة التبلور من المرو فتشمل البلورات السداسية الجوانب شبه المنشورية و الكتل الحبيبية الكبيرة التي يمكن فيها رؤية حبيبات المرو المنفردة و يعد البلور الصخري مروا خشن التبلور و يوجد في شكل بلورات نقية لا لون لها ،و يطلق على بعض الأنواع الملونة من بلورات المرو الخشن التبلورمثل الجمشت و التترين اسم التوباز الزائف و هي تقطع إلى أحجار كريمة و الأشكال الحبيبية من المرو الخشن التبلور وتشمل الحجر الرملي المروي و الرمل المروي و يعد المرو الوردي و المرو ذو الحبيبات الملونة،أما الأشكال الخفية التبلور فلها حبيبات مفردة

---

*الموسوعة العربية العالمية ،المرجع السابق ، 2004.

مثل السرت والظر والخشب .ويتألف الخشب المتحجر من العقيق الأبيض الذي حل محل الليف الخشبي الأصلي.

الصورة رقم (05) الرخام

3-2-7- الرخام :

الرخام هو صخرة تتألف أساسا من الكالسيت أو الدولوميت ،أو مزيج من معادن الكربونات فهو نوع من صخور متحولة شكلت من الحجر الجيري وقد تكون تحت ظروف نادرة من الضغط.

إن عملية إعادة تبلور الحجارة الجيرية يصاحبها تغير في الملمس وتركيبها ،وتسمى هذه العملية بإعادة البلورة و توجد شوائب به أثناء التكوين تؤثر في صفاته الأساسية كاللون و وجود نسبة من الهيماتيت يكونرخام محمر اللون وإذا وجد الدولوميت يتكون الرخام الأخضر.

4- المعدن:

أكثر المواد الصلبة شيوعا على الأرض ،تستقر طبقات الأرض و المحيطات على طبقة من الصخر المؤلف من المعادن ،حتى التربة فتحتوي على قطع متناهية الصغر من معادن تفتت من الصخور.[36] كما توجد المعادن على سطوح القمم تتضمن المعادن مواد شائعة مثل الملح الصخري و جرانيت أفلام الرصاص،و هواء نادرة مثل الذهب و الفضة ...إلخ.

[36] الموسوعة العالمية العربية ،فس المرجع ،2004.

5- مواد البناء المساعدة

لقد طور الرومان القدماء نوعا من الملاط أو المونة ،و ما يسمى بالخرسانة أو الإسمنت إلى ما يشبه الأنواع المستعملة حاليا،و كان للإسمنت الذي استعملوه صلاحية عظيمة لدرجة أنّها لاتزال تقف شاهدة مختلف أبنيتهم. و لصناعة الإسمنت خلط الرومان الجير المطفأ و هو جير أضيف إليه الماء مع رماد بركاني يسمى البوزولان. و لقد أنتج الرومان الإسمنت بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية في القرن الخامس الميلادي.

5-1- الملاط:

يستخدم الملاط لربط طوب البناء و منشآت الطوب الحراري بعضها ببعض. إلا أنّ مكونات الملاط تتغير بتغير نوع الطوب و الاحتياجات الإنشائية و يتكون الميلاط المستعمل في ربط طوب المباني في المواد التالية : الإسمنت البورتلاندي و الجير و الرمل ،و يساعد الملاط على تثبيت الطوب في مواقعه و عمل جدار قوي مانع يقاوم الرطوبة. يبلغ سمك الملاط بين طوب البناء ما يقرب من 6 سم إلى 12 سم. ويقوم البناؤون بفرش الملاط على الطوب بأداة خاصة و يجب أن يكون الملاط المستعمل في ربط الطوب الحراري مقاوما لدرجات الحرارة العالية ذاتها،و للتفاعلات الكيميائية و للتآكل و يتكون الملاط الحراري من المواد التالية : الإسمنت الكلسي الألوميني و الماء و مواد صلبة مطحونة و ناعمة و متشابهة في تكوينها لمواد الطوب المراد ربطه. و لا يتجاوز سمك الملاط بين الطوب الحراري 1.5 ملم و يمكن الحصول على مفاصل رقيقة جدا و ذلك بغمس الطوب و ميلاط شبه سائل ثم ضغطه مع بعضه البعض.

5-2-مونة الطين:

استخدم هذا النوع من المونة في مباني الطوب اللين ،و تحضر بمزج الطفلة الطينية (طمي النهر) بالماء للحصول على القوام المناسب ثم يضاف إليها الرمل و القش المهروسة.

5-3-الجبس:

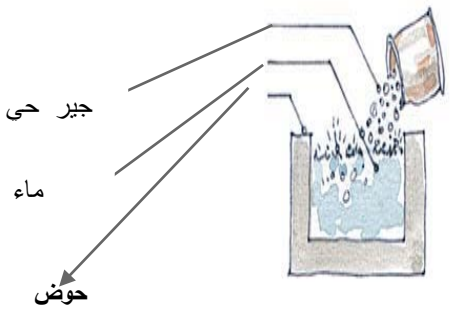
عبارة عن مادة طبيعية متبلورة من كبريتات الكالسيوم المميه($Ca\ SO_4\ 2H_2O$) و لاستعمال الجس كمونة لا بد من إحراقه حيث يفقد ثلاثة أرباع الماء كيميائيا. و يتحول إلى مادة شديدة التمسك و الصلابة.

5-4 -مونة الجير :

إنّ عملية حرق الحجر الجيري للحصول على الجير الحي ،و هو المادة الأولية لمونة الجير تتطلب درجة حرارة أعلى بكثير من درجة الحرارة التي يتطلبها حرق معدن الجبس لتحضير مونة الجير،إذ تتحول كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) إلى أكسيد الكالسيوم (الجير الحي) عند درجة حرارة تتراوح مابين 900° إل 950°م و عند إطفاء الجير الحي بالماء،فإنّه يتحول إلى هيدروكسيد الكالسيوم عند تفاعله مع ثنائي أكسيد الكربون الموجود في الجو إلى بكربونات الكالسيوم ثم كربونات الكالسيوم ،و هو المادة الرابطة الثابتة كيميائيا في مونة الجير. تحضر مونة الجير بخلط الجير المطفأ (هيدروكسيد الكالسيوم) بالرمل،و يستعمل على هذا النحو في عملية البناء. ثم يتحول هيدروكسيد الكالسيوم بعد ذلك عند تفاعله مع ثاني أكسيد الكربون بالجو إلى كربونات الكالسيوم ،فتتماسك المونة و تقوم بوظيفتها كمادة رابطة و

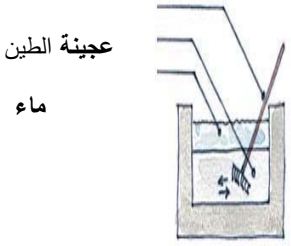
مع مرور الزمن تزداد الصلابة ،وهي المميزات الفزيائيوكميائية للجير موضحة في الملاحق

5-4-1 تحضير عجينة الجير :



الشكل رقم (09) المرحلة الأولى

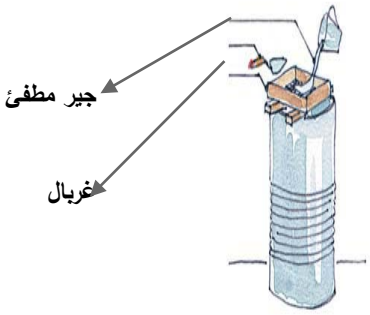
بعد عملية الحرق وعندما تبرد المادة نقوم ر بغمرها في الماء لغرض إطفائه ويجب دائما إفراغ الجير على الماء وليس العكس بإفراغ الماء على الجير ،ما قد يسبب تناثر المادة على المستعمل العملية يمكن القيام بها في حفر معزولة أو أحواض من للاسمنت ،أو حاويات من الحديد الصلب.



ا لشكل رقم (10) المرحلة الثانية

عند ملامسة الماء للجير الحي يتمدد هذا الأخير بشكل كبير ،كما ترتفع حرارته (الماء يصبح في شكل فقاعات) ثم يصبح على شكل عجينة ،والتركيز التقريبي هو : 3 لتر من الماء لكل 1 كلغ من الجير الهوائي ،وكلما طال بقاءها داخل الماء زادة جودتها وأصبحت قوية ،وأفضل توقيت هو 4 أيام .

يعد التبريد مهما بعد عملية غربلة العجينة من اجل نزع الشوائب أين تكون أجزاء من الترسيبات لم تحرق جيدا أو أخرى



الشكل رقم (11) المرحلة الثالثة

حرقة بشكل كبير،هذه العـــــــملية تتم باستعمال غربال قطر فتحاته ما بين 1 إلى 2 مم بعد عملية الغربلة ،الجير يصبح في شكل عجينة يمكن تخزينه لتجنب التجمد في براميل خاصة أو حاويات ،ويجب أن تكون دائما مغطاة بالماء في السطح .

ا لجدول رقم 02 المكونات الكيميائية لمادة الجير

المكون القاعدي	الوزن الذري
ألمونيوم	30
سلسيوم	28
كلسيوم	40
أوكسجين	16
هيدروجين	1
كربون	12

5-5- ملاط الجدران:

اسمنت أو طين يطلى به الحائط أو الجدران الداخلية و أسقف المباني لجعلها أكثر مناعة للهواء. و لإعطائها لمسات تحسينية سطحية ،و تطلق تسمية التمليط على عملية وضع الجص على الجدران الخارجية.

5-6- ملاط الطين

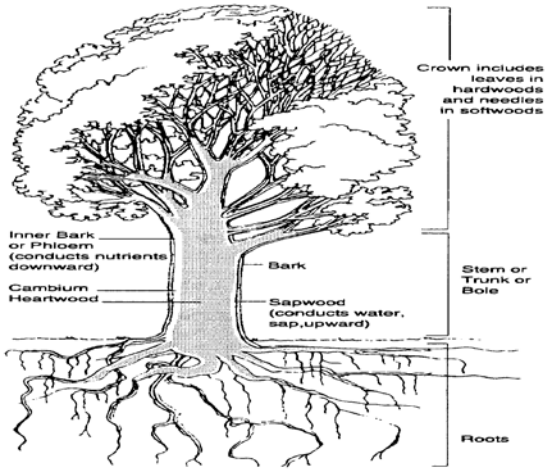
يمكن تمييز نوعين منه ،أحدهما خشن و يكون في الأعم و الأغلب مخلوط بالتبن المفرط (المهروس) و الثاني من صنف أفضل و كان يستخدم إما مخلوطا بالتبن و إما بدونه ،و كان يستعمل غشاء متمما للنوع الخشن ،و توجد كثير من القرائن الأثرية التي ترجع أنّ النوع الأخير كان شائع الاستعمال و يضع النوع الخشن من طمي الوديان ،الذي يتكون في مجمله من خليط من الطفلة الطينية و الرمل بنسب متفاوتة مع قدر ضائل من كربونات الكالسيوم و نسب قليلة من الجبس في بعض الأحيان.

5-7- مـــــــــلاط الجبس:

هو عبارة عن مادة مثل الجبس ،تستعمل على الجدران الخارجية فتشكل غطاءا راقيا قويا ، يتكون ملاط الجبس عادة من الرمل ،و خليط لاصق إسمنتي ،و في العادة يستعمل العمال ثلاثة طبقات مستخدمين الموالج و يمكن استعمال ملاط الجبس في كثير من أعمال اللمسات الأخيرة و التلوين.

6-/ الأخـــشاب:

مادة صلبة توجد تحت قلف الأشجار،و غير ذلك لعبت الخواص الطبيعية للخشب بالإضافة إلى تركيبه الكيميائي إلى جعله احد الموارد الطبيعية،و يستخدم في آلاف الصناعات البناء و الأثاث كما ساعدت الخواص[37] الطبيعية للخشب على دخوله في أعمال البناء ،فهو قوي و سهل المعالجة ،و يستخدم كمادة عازلة.و يتكون الخشب من خلايا دقيقة أنبوبية الشكل تكون



الصورة رقم 08 أهم مكونات الشجرة[38]

طبقات من النسيج الدائم حول ساق النبات ،و تحتوي جدران خلايا الخشب على ثلاث مواد أساسية. و هي السيليلوز و نصف السليلوز ،و يحتوي الخشب كذلك على مواد تعرف باسم المستخلصات و منها الشحوم

[37] MILTON f Thomas the préservation of Wood .university of Minnesota. College of Natural resources, 1995, p11.
[38] MILTON F Thomas, ibid ,p250.

6-1- خشب البلوط:

تعود أشجار البلوط مصدرا مهما من مصدر الخشب ،و يتميز خشب البلوط بأنّه ثقيل و صلب و قوي و له جذع جميل و يستخدمها المنتجون في صنع الأثاث و البراميل و المراكيب.

6-2- خشب الزان:

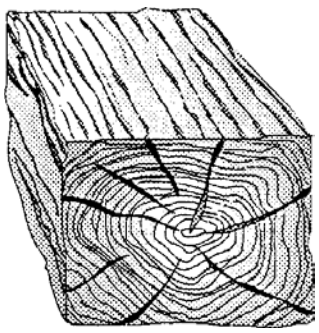
شجر من أشجار الغابات تنتشر في كلا النصفين الشمالي و الجنوبي للكرة الأرضية ،أما خشب الزان فهو صلب و متقارب الألياف قوي.و يستخدم لصنع الأثاث و مقابض العدد.

6-3- خشب الأرز:

كما يسمى أيضا بالعرعار و هو أسم يطلق على مجموعة من الأشجار دائمة الخضرة التي تنتمي إلى فصيلة السرو ،و تنمو نحو 60 نوعا من العرعار و تسمى أشجار الأرز أو الأرز الأحمر،يشكل خشب الأرز الأحمر الشرقي أهمية تجارية في الولايات المتحدة الأمريكية.و يستخدم خشبه الأحمر ذو الرائحة الطيبة في صناعة خزعات الملابس.

6-4- خشب العرعار:

خشب قاس و ذو لون بني فاتح كما أنّه لا يتفلق بسهولة، و ذلك فهو يستعمل في صنع البراميل و أدوات المزارع و أعمدة السياج كذلك.



الصورة رقم 09 مادة الخشب

6-5- خشب الزيزفون:

هي شجرة كبيرة الحجم ترتفع إلى حوالي 40م و قطرها أكثر من 100سم، أما خشبها فهو خفيف و ناعم و يستخدم لعمل القشرة الخشبية و الأثاث و الستائر.

7- الخلاصة :

كانت مواد البناء قديما مما كان ينمو في البيئة المحلية من أعواد النباتات من البردى و ألغاب و السمار و من فروع الشجر و قد وجد القدماء مواد مناسبة لإقامة أكواخهم البدائية بما كان يلبي احتياجاتهم و ما كانوا يملكون من أدوات.

ولقد ظلت قوالب اللبن المنتظمة الشكل و ما تزال مستخدمة في بناء البيوت و القصور و أسوار المدن و بعض المعادن خلال العصور التاريخية نفسها ،كما كان الملاط في المباني من اللبن هو الطين ،و هو أصلح المواد لهذا الغرض ،و لا يزال يستخدم اللبن في المباني حتى الوقت الحاضر،و كانت الجدران من الطين تطلى أيضا بطلاء من طين ،و كان نوعين : نوع خشن يتكون من طمي الوديان العادي ،و نوع جيّد يتكون من خليط من طين دقيق الحبيبات و حجر جيري كان يؤخذ من حبوب سفح الهضاب.

أما اليوم ومع التطورات الهائلة التي عرفها مجال الصيانة والترميم في علم الآثار،خاصة في مجال استعمال مواد كيميائية ،فقد فتح المجال لظهور مواد جديدة وبديلة في مجال البناء وبالتالي مجال ترميم وصيانة وحفظ المقتنيات الفنية والآثار ،واستطاعت إن تحل مشاكل كثيرة فيما يخص ترميم وصيانة الممتلكات الثقافية سواء كانت أثرية أو فنية ،منقولة أو غير منقولة عضوية أو غير عضوية ،في المواقع المكشوفة أو قاعات العرض والمخازن في المتحف.

ما يميز هذه المواد أنها قابلة للاستعمال في كل الميادين وتحتل مكانة هامة في حاجياتنا اليومية

قائمة المصادر والمراجع :

1- قيصرون محمد ميزار ،**الميكانيك وخواص المادة ،قسم الفزياء** ،جامعة البحرين.1989

2- عبد الهادي محمد،**دراسات علمية في ترميم و صيانة الآثار الغير العضوية** ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة 1995.

3- محمد راتب عطاس أندراوس مسعود ،**مواء البناء و اختيارها ،ديوان المطبوعات الجامعية** ،بن عكنون الجزائر ،1992.

4- أد.عبد اللطيف يوسف الغنيم ،**الموسوعة الجيولوجية،ط 1،ج2** ،دار النشر و التوزيع ،الكويت ،1998**.**

5- د .عبد الهادي محمد ،**صيانة وترميم الآثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة .**

6- عبد المعز شاهين ،**ترميم وصيانة المباني الأثرية والتاريخية** ،مطابع المجلس الأعلى للآثار،القاهرة 1994 .

7- أد.عزت زكي حامد قادوس ،**علم الآثار والحفائر وفن المتاحف** ،الإسكندرية 2005 **.**

8- **المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ،صيانة التراث الحضاري ،تونس 1990** .

9- الموسوعة العربية العالمية 2004

10-الموسوعة العالمية ويكيبيديا .

المصادر والمراجع باللغة الأجنبية.

.

1- DJEBBAR TIAB and ERLE C. Donaldson, theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties, imprint of Elsevier, USA, 2004 .

2- Patinot jean Claude, la conservation du mobilier archéologique, rapport de synthése. France, 1998 .

3- PAUL PHILIPPOT conservation des antiquités et des ouvres d'arts, édition Seyroles .boulevarde Saint-Germain –Paris 1966 .

4- Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS) , la conservation préventive de la pierre .bibliothèque UNESCO ,imprimeries populaire des Arts graphique ,Genève . 1982 .

5- ERIK FLUGEL ,microfiches of carbonate rocks pringer, institute of paleontology loewenichstrasse Germany .1988

6- MILTON f Thomas the preservation of wood .university of Minnesota. College of natural resources ,USA , 1995.

الفصل الثاني

آليات وأسباب تدهور المواد الاثرية

I. الحجارة:

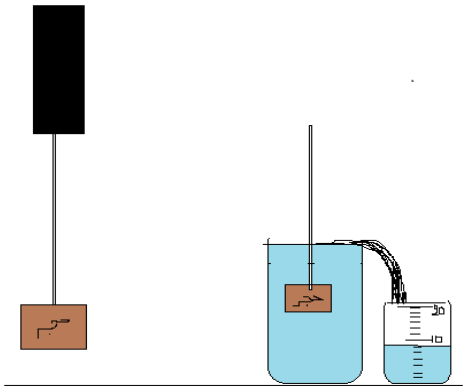
1- الخواص الفيزيوكيماوية للحجارة:

تلعب الخواص الكميائية و الطبيعية للحجارة دورا هاما في ميكانيزمات التلف باختلافها والتي تتعرض لها الحجارة في جميع أنواعها و المواد المسامية بصفة عامة[1]،و حسب مبادئ الصيانة و الترميم فعلى المرمم معرفة المواد الأولية المكونة للآثار،ثم تقدير أسباب التلف ودرجة التلف ،و من ثمّ تحديد خصائص و مميزات المادة الأصلية من أجل اختيار أنسب لعمليات التقوية و طرق تطبيقها.

ففي ميدان صيانة الحجارة يلعب التركيب الكيميائي للمعادن الأساسية الملونة[2] للحجارة و المعادن الإضافية و المواد الرابطة أساسا في اتخاذ الإجراءات الازمة للتدخل المباشر على الحجر،هذا بالإضافة إلى التركيب البلوري لتلك المعادن دورا بالغ الأهمية في مسار التلف الداخلي للحجارة من بين هذه الخواص .

1-1- الكثافة و الثقل النوعي:

تعرف الكثافة الكتلة ،أي مقدار المادة الموجودة في حجم الوحدة لأي مادة ،و تستخرج كثافة المادة بقسمة كتلتها على حجمها. و تقاس كثافة السائل أو الجسم الصلب بعدد الجرامات الموجودة في السنتيمتر المكعب الواحد.



الشكل رقم (12):الثقل النوعي

الكثافة= الكتلة / الحجم

[1] عبد المعز شاهين ترميم وصيانة المباني الأثرية والتاريخية مطابع المجلس الأعلى للآثار القاهرة 1994 ص 42 .

[2] ماري بيرديكو ،الحفظ في علم ألآثار،ترجمة : احمد الشاعر ،القاهرة ،2002 ،ص526.

أما كثافة الجسم الصلب المنتظم الشكل فتحدد بمجرد قياس كتلة الجسم[3] ،و حساب حجمه و قسمة الكتلة على الحجم و يرتبط الثقل النوعي للمادة بكثافتها ،ويعرف الثقل النوعي أنه نسبة كتلة حجم معين من المادة إلى كتلة حجميه مساوي من الماء،و يستخرج بقسمة كثافة المادة على كثافة الماء عند 4° أو 20°م،كثافة الحجم تعتمد بشكل أساسي على التركيب الكيميائي و البلوري ،حيث تتغير كثافته بتغير درجة الحرارة والضغط اللذان يسببان انكماش الوحدة البنائية التي يتكون منها الحجم.

1-2- المسامية:

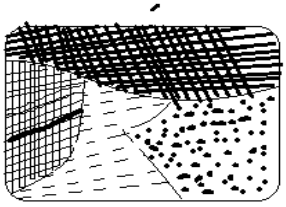
عبارة عن ثقوب أو فراغات صغيرة في المادة،و يمكن للغازات و السوائل المرور عبرها ،و في بعض المواد المسامية نجد أنّ هذه الفراغات[4] معزولة بعضها عن بعض بمادة صلبة ،كما تعبر المسامية عن النسبة المئوية لحجم الفراغات الموجودة بين حبيبات المادة بالنسبة للحجم الكلي للمادة ،ففي الصخور النارية و المتحولة تقل هذه الأخيرة طبقا لطبيعة تكوين بحبيباتها ،في حين تزداد و تصل إلى قيم مرتفعة في الصخور النارية و المتحولة كالجرانيت[5] و الرخام فإنّ حبيباتها المعدنية ترتبط مع بعضها بحكم الحرارة و الضغط

الشكل (13):**المسامية حجر رملي رسوبي**

[3]**عبد المعز شاهين ،المرجع السابق ،ص 65.**

[4]**محمد عبد الهادي محمد ،مبادئ الترميم وصيانة الاثار الغير العضوية ، كلية الاثار ،القاهرة 1996 ص 82**

[5]**Véronique Cebal ,Christiane tamisier, rocheset minéraux mini encyclopédie .paris,1998, p 64.**



الشكل (14):المسامية في الجرانيت

المتحكمان في سد الفراغات البينية،وبالنسبة للصخور الرسوبية فإنّ الحبيبات المكونة لها تظل مستقلة بأشكالها الكروية و الغير المنظمة ما يسمح بتكوين العديد من الفراغات و كلما زاد الاختلاف في الحبيباتكلما زادت الفارغات اتساعا.[6]

1-2-1- تعيين المسامية:

يتم تعيين المسامية:

- إيجاد وزن كتلة محددة و منظمة من مادة البناء في الهواء.
- إيجاد وزن الكتلة بعد احتلال الماء محل الهواء الموجود في المسام.
- تعيين وزن الكتلة و هي مغمورة في الماء.

المسامية =كثافة المادة * وزن الماء اللازم لملأ المسام * 100[7]

وزن المادة الجافة في الهواء

الجدول 03 يمثل صلابة المواد حسب مقياس موس

المعدن	الصلابة	المعدن	الصلابة	المعدن	الصلابة
1- التلك	1.3	**2- جبس**	2.5	**3-الكالسيت**	3.8
4- الفلوريت	4.1	**5- الاباتيت**	5.3	**6- اورثوز**	6
7- الكوارتز	7	**8- التوباز**	8	**الكورنيدون**	9
الالماس	10				

[6]**DJEBBAR TIAB and ERLE C. DONALDSON theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties, imprint of Elsevier, USA 2004,p 37**

[7]**محمد عبد الهادي محمد ،نفس المرجع ،ص 125 .**

1-3- النفاذية أو الخاصية الشعرية:

تعد قدرة الحجارة على امتصاص المحاليل المائية أو العضوية.التي بدورها تعتمد على كثير من العوامل أهمها مسامية الحجارة و حجم حبيباته و السطح النوعي[8] لهذه الحبيبات و الشّد السطحي للسائل المستخدم و درجة لزوجة السائل أو المحلول،و هذه الخاصية من الخواص التي يلزم معرفتها و تقدير قيمتها في الحجارة قبل إجراء عمليات العلاج سواء بأسلوب التقوية بالحقن

العادي أو الحقن تحت الضغط[9] (injection sous pression) أو بطريقة السقي أو التشرب الحجارة الصغيرة أو التي تتطلب حالتها مثل هذه العمليات.

1-4- الصلابة:

هي مقاومة سطح الحجر لعملية الخدش[10] حيث يمكن أن تخدش الحجارة الناعمة بالظفر و تخدش الحجارة الصلبة بأداة حادة أكثر قسوة. تختلف الأحجار اختلافا كبيرا في هذه الخاصية و معرفة صلابة المادة التي يتكون منها الحجر لا يفيد فقط في التعرف على طبيعة الحجر و لكن يفيد في اختيار أساليب العلاج المناسبة. كما تعرف الصلابة بأنّها القدرة على مقاومة الخدش أو الثني أو الكسر.

[8] **الموسوعة العربية العالمية 2004.**

[9] **James Coignet, Laurent Coignet, la maison ancienne : construction, diagnostic, Intervention,3éme tirage, s. éd, 2005, p 25.**

[10] **محمد عبد الهادي محمد ،المرجع السابق ،ص 96.**

يجب تحري الدقة في قياس الصلابة من حيث الانتقال من معدن إلى آخر من المعادن المكونة للصخور النارية و المتحولة والمعادن و المواد الرابطة[11] في الصخور الرسوبية لتجنب الخطأ في تقدير هذه القيمة، و بوجود حاليا العديد من الأجهزة العلمية للقياس الدقيق للصلابة.

و قد كان العالم النمساوي "موس" (mohs)هو أول من وضع عام 1822 مقياس لا يزال مستخدما حتى الآن ،كما مقياس صلابة المواد يعرف باسم مقياس موس كما هو موضح في الشكل(03).

1-5/المواد الرابطة:

و من السمات المميزة للصخور الرسوبية نجد المواد الرابطة لحبيبات الصخور و الأحجارو كما نجدها أيضا في الصخور المتحولة مثل الكوارتزيت. اما الصخور النارية ،فإنها تخلو تماما من هذه المواد إذ تربط مكوناتها بفعل التداخل بين حبيباتها.

و من الأمثلة الواضحة التي تدل على هذه الظاهرة نجد الحجر الرملي ،حيث يتكون من حبيبات الكوارتز[12] تربط فيما بينها رابطة من كربونات الكالسيوم أو أكاسد الحديد أو السيليكا غير المتبلور أو الظلة.

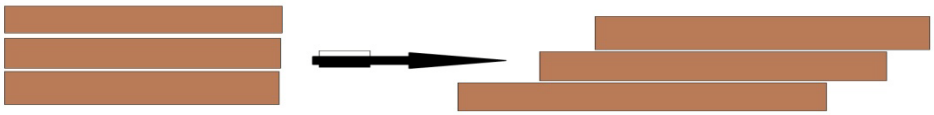
[11] **Véronique cebal .Christiane, opcit p 14 .**

[12] **محمد ماجد عباس خلومي ،استطلاع المواقع وأبحاث التربة والأساسات ،ط5 ،دار النهضة العربية ،1991 ،ص 41.**

وإن كانت جميع هذه المركبات توجد داخل الحجر بنسب متفاوتة في الحجر الرملي العادي ،أما إذا ازدادت نسبتها بدرجة كبيرة يسمى الحجر باسمها (الحجر الرملي الطيني ، الحجر الرملي الحديدي ، الحجر الرملي الجيري). و معرفة درجة تماسك الحجر و ما إذا كان يحتاج إلى عمليات تقوية يعد تقديره أمرا في غاية الأهمية. و غالبا ما تحصل هذه العمليات عن طريق إدخال مادة مقوية تربط بين حبيبات الحجر المنفصلة عن بعضها نتيجة الفصل بين الحبيبات باستعمال مركبات طبيعية أو صناعية.

1-6- التركيب الطبقي للصخور:

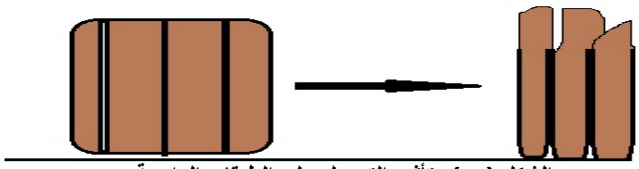
من خلال ملاحظة سمك التركيب الطبقي ،و كمثال الحجر الرسوبي ،نجد أنّ هذا السمك هو عبارة عن طاقة الحامل الوسطي للمواد المرسبة ،و هذا طبقا لمعدلات ميكانيكية أو كيماوية ،و عند وجود فاصل زمني بين ترسبات هذه الطبقات ،فتكون درجة تماسكها



الشكل رقم (15) :يبين تأثير التحميل على الحجارة

تتقلص كلما زادت الفترة الزمنية الفاصلة بين كل طبقتين. كما يؤدي هذا إلى حدوث تغيير في الخواص الطبيعية و الميكانيكية للأحجار و يؤدي إلى حدوث اختلاف في درجة مقاومة الأجزاء المختلفة.

الشكل(16) :تأثير التموضع على الحجارة



الشكل (17) :تأثير التحميل على الطبقات الراسبة

1-7- التمدد الحراري لمعادن الصخور:

و تعد من الخواص العامة ،فمن خلالها يمكننا توضيح الفرق الكبير بين درجات حرارة النهار و الليل التي تصل إلى معدلات عالية مع أسطح الحجارة. في المناطق الصحراوية في فصل الصيف حيث ترتفع درجة الحرارة وتسبب في تمدد المعادن المكونة للسطح الخارجي بينهما(الناقلية الحرارية لبعض المواد) الأجزاء الداخلية تكون باردة في الليل و عندما تنخفض تنكمش المعادن في السطح الخارجي للصخور بينما تكون معادن الأجزاء الداخلية في حالة تمدد و هذا الاختلاف يؤدي إلى تفتت و فقدان الحجارة لقوتها و تماسكها.

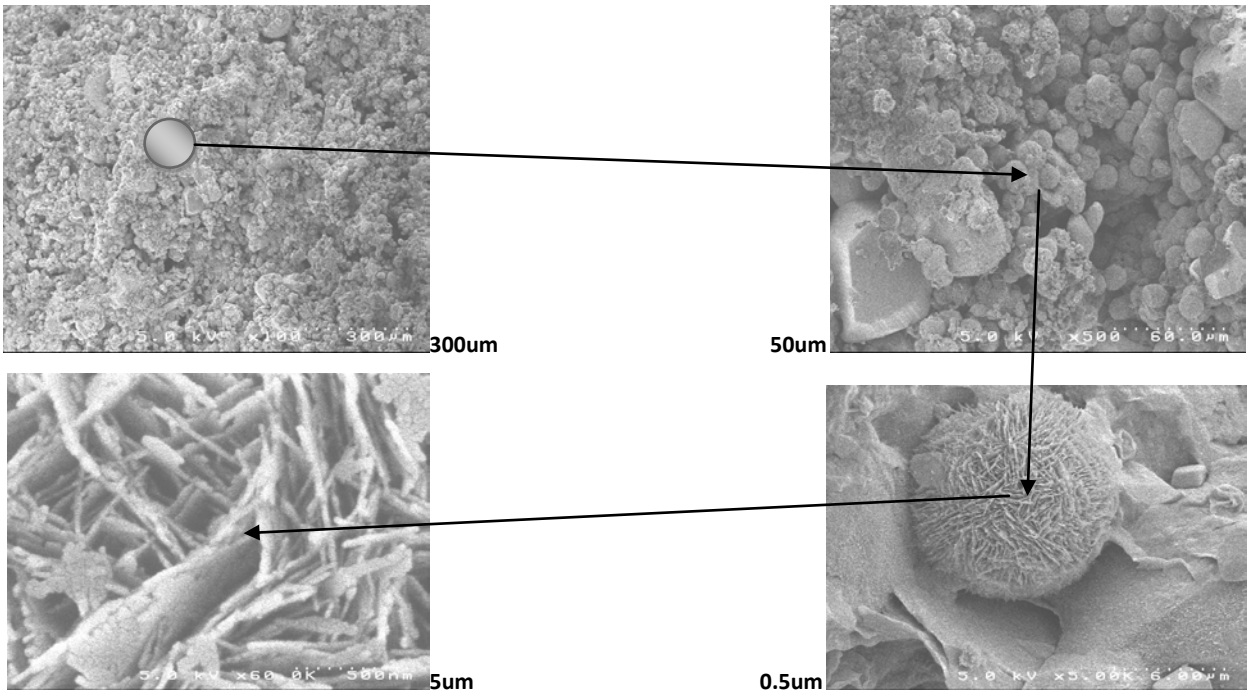
2- أهم أسباب تلف الحجارة:

تعتمد عملية تلف الحجارة على آليات و ميكانيزمات خاصة ،تؤدي دائما إلى نفس النتيجة،و من بين العوامل المساعدة على التلف نجد،التغيرات المفاجئة في درجة الحرارة. و محاليل الأملاح. و يعد هذان العاملان أكثر وضوحا و أشّد أثرا على الحجارة. بالرغم من ذلك لا نستعين بالعوامل الأخر.

2-1- العوامل الداخلية:

و تتمثل أساسا بالتركيبة الداخلية للحجارة،و كيفية تكونها و عوامل تماسكها و قوة تحملها و مقاومتها،إضافة إلى موضع الطبقات المكونة لها ،كل هذه المميزات نلخصها في الخواص الطبيعية و الكيماوية للحجر. إضافة إلى التركيبة الكيميائية[13] و البلورية و مساميته و نفاذ يته و قوة تحمل المواد الرابطة[14] هذه الخواص تتحكم في درجة تلف الأحجار. كما يمكن إضافة

ظروف النشأة التي يمكن ملاحظتها في بعض الصخور النارية ،أين تصعد بعض المكونات المعدنية الضعيفة مع الحمم البركانية ،نتيجة عدم قدرتها على التخلص من غازاتها.



صورة رقم (10):تبين راديو غرام حجارة التوف(100 ×5000)[15]

[13] **J-f – Marcou ,chimie des solides, Paris, 2004, p 199.**

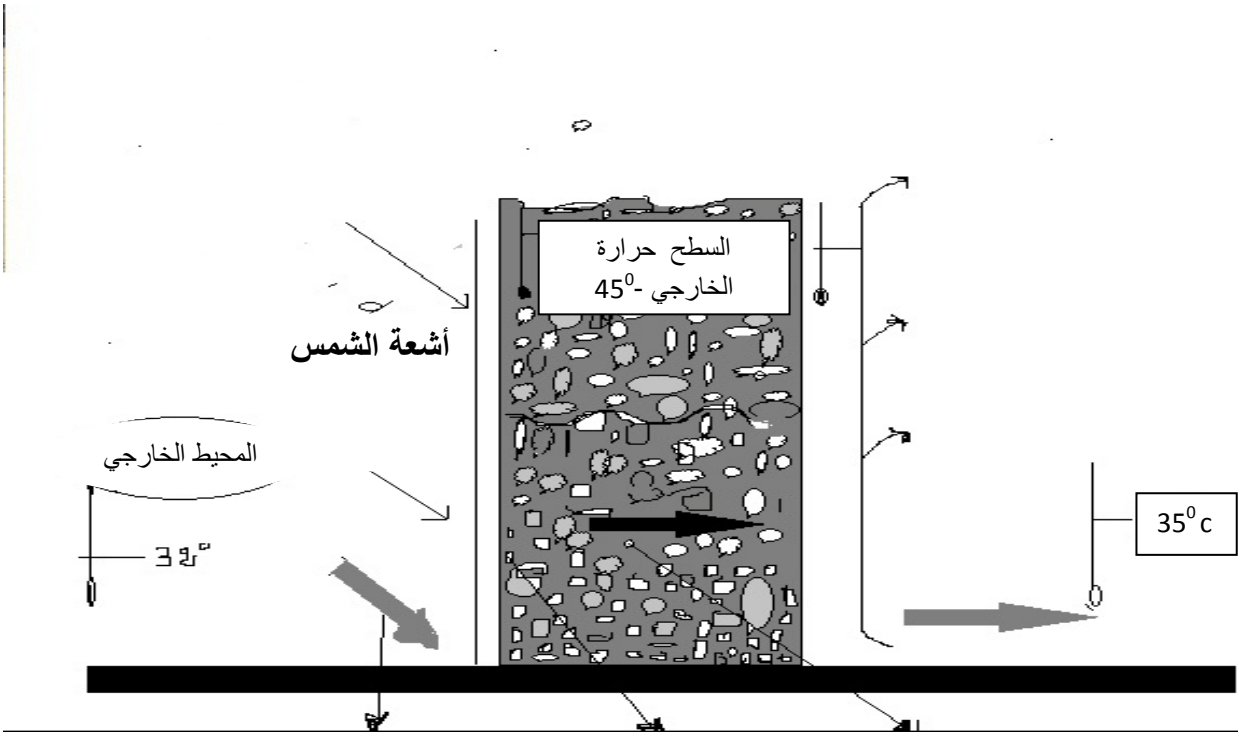
[14] **P agti-n ,Matière mécanique appliquée dans la résistance des matériaux, mécanique des fluides thermodynamique ,Édition Dunod, Paris, 1996 .p 78.**

[15] **Encyclopédie universalise français 2012.**

2-2- العوامل الخارجية:

2-2-1- التغيرات المفاجئة لدرجة الحرارة:

تتعرض الأسطح الخارجية للحجارة إلى أشعة الشمس طوال اليوم ،ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المعادن المكونة لسطح هذه الحجارة بعد امتصاصها و تخزينها لطاقة حرارية خاصة عند عجز الحجارة عن تمرير هذه الطاقة ،حيث تختلف درجة ناقلية الحرارة في الحجارة من نوع إلى آخر. ما يلعب دورا هاما في تلفها. وعلى مدا ساعات النهار يتسرب



الشكل (18): تأثير العوامل الخارجية على الحجار والجدران.

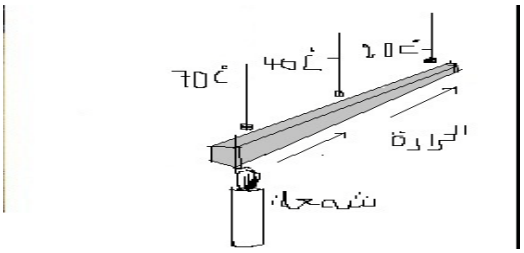
جزء من هذه الحرارة إلى داخل الحجارة ،و عند الليل تنخفض درجة الحرارة إلى أدنى الحالات ما يؤدي إلى برودة الأسطح الخارجية نتيجة اتصالها بالهواء البارد[16] ،و تزداد خطورة هذه الاختلافات في درجة الحرارة خاصة في الحجارة النارية و كثير من الحجارة

[16] محمد ماجد عباس خلومي ،نفس المرجع ،ص 25 .

المتحولة،و يقل في الحجارة الرسوبية المسامية. يقوم الهواء المحبوس في مسامها بدور كبير في عملية التوصيل الحراري بالانتقال و يكفل عدم اختزان الحرارة

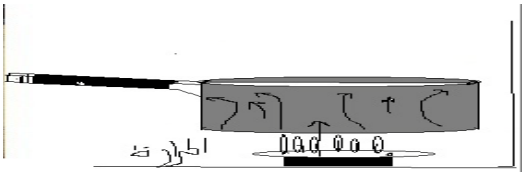
2-2-2- كيفية تنقل الحرارة:
تنتقل الحرارة بثلاث طرق وهي

أ- التوصيل :هوانتقال الحرارة خلال مادة ما، بحيث تحرك داخل المادة دون حمل أي جزئ من تلك المادة ،وعند تسخين القضيب الحديدي من الأسفل تنتقل الحرارة إلى الأعلى



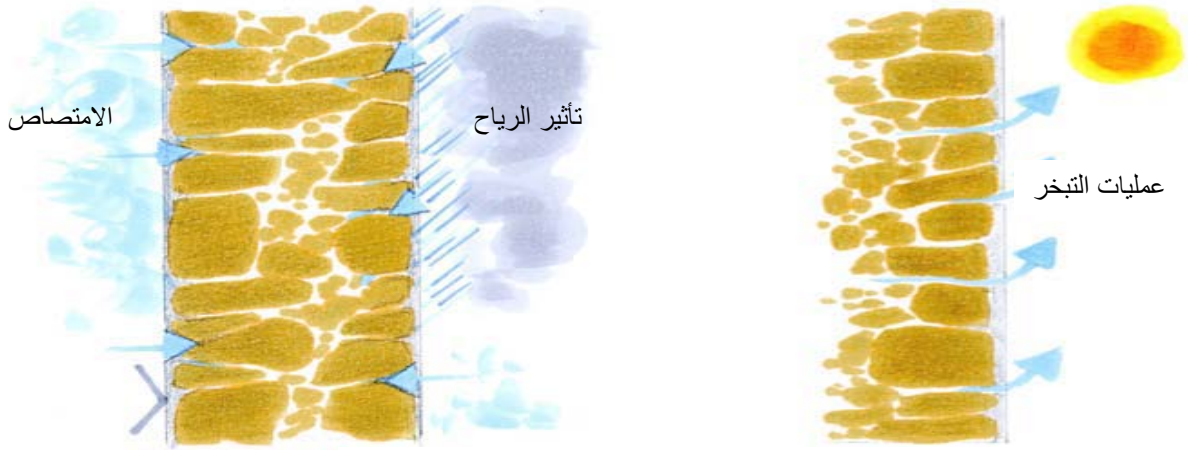
الشكل (19): التوصيل الحراري

ب- الحمل :هوانتقال الحرارة بواسطة تحرك مادة مسخنة ،مثلا يسخن الموقد الوعاء فيؤدي إلى تسخين الماء الذي في الداخل.



الشكل (20) :الحمل الحراري

ج-الإشعاع
:تنتقل الحرارة خلال الفراغ الذي يحتوي جسيمات ،فمثلا تسخنا لشمس الأرض كما يقوم المصباح بتسخين الأشياء القريبة منها ،وذلك بواسطة الأشعة تحت الحمراء[17]

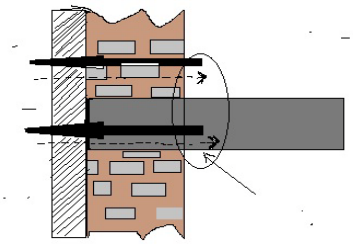


الشكل (21) : يبين تأثير الحرارة على الحجارة (ظاهرة التبخر)

[17]**Jean -Pierre Ndoutoum, Efficacité Energétique de la climatisation ,Région tropicale, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie. Québec, Canada. P35 .**

2-2-3- العزل الحراري:

هوطريقة للتحكم في تحرك الحرارة بحبسها داخل أو خارج مكان ما،وتعزل المباني السكنية حراريا في فصل الشتاء حفاظا على الحرارة داخلها وخارجها[18]في الصيف ويستخدم لهذا الغرض عدة مواد منها الخشب والبلاستيك ،ويمكن منع تحرك الحرارة بالحمل خلال الهواء بسد المجال بين منطقة التسرب.



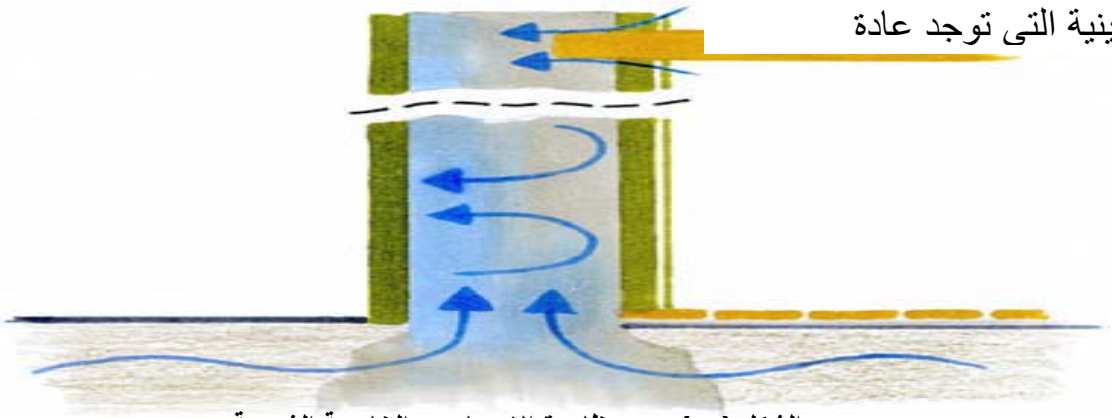
الشكل (22): العزل الحراري

2-2-4- مياه الرشح و النشع:

تمثل مياه الرشح و النشع أكبر تهديد لحياة وسلامة الحجارة ،خاصة في المباني الواقعة في المناطق الرطبة أو المناطق ذات منسوب تساقط مرتفع[19]. فارتفاع منسوب المياه تحت سطح أساسات المباني الأثرية من العوامل الطبيعية الأولى في تلف و تهديد الخواص الميكانيكية للحجر. يتمثل التأثير الخطير لهذه المياه في ما تحمله من أملاح أو هواء أو رطوبة.

تتمثل أهمية و خطورة انتقال مياه الرشح و النشع بالخاصية الشعرية ليس فقط على كمية المياه الهائلة التي ترتفع في الأجزاء السفلى من الجدران ،و العودة إلى مسافات تختلف و تتفاوت باختلاف مسامية و نفاذية هواء البناء[20] و كمية المياه المتجمعة أسفل الأساسات. لكنها ترتبط أيضا بالتأثيرات التي تصاحب تركيز كمية كبيرة من المياه في المسام و الفراغات.

البينية التى توجد عادة



الشكل (23): يبين ظاهرة الإمصاص والخاصية الشعرية.

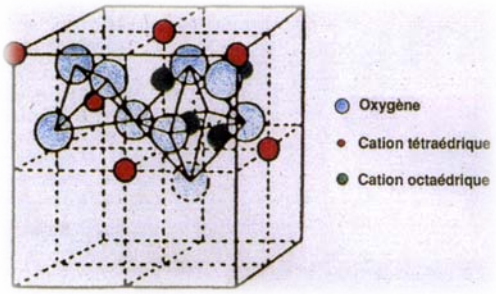
[18]**Laffont Carolin , le contrôle de climat : fiche pratique, école nationale des sciences de l'information et des bibliothèques, édition biblio pat, Françe,2008, p3.**

[19]**-Noud (c) . l'humidité relative et la température ;conservation préventive dans les musées . Canada .1995 p129**

[20]**محمد ماجد عباس خلومي ،المرجع السابق ،ص 205 .**

II. الخزف (céramique):

1/ تعريف:



الشكل (24): أهم مكونات الطينة[22]

تعني كلمة الفخار في اللغة الفرنسية Céramiquوهي تعود إلى اللغة اليونانية "Keramos" التي تعني أيضا الفخار،هذه الكلمة اليونانية هي ذات أصل أقدم[21] ونجد الخزف يستعمل في مجالات عديدة،فهو مادة غير عضوية كما لا يتميز بخصائص معدنية

و من مميزات أنّه يتكون من أكاسيد و هي مواد نتعامل[23] معها في الحياة اليومية مثل الإسمنت و الزجاج،و غالبية مواد الخزف نجدها صلبة يمكن مقاومة الحرارة و المواد الكيميائية،و يتكون أيضا من معادن مثل الصلصال و الفلسبات (سليكات الألومنيوم) و السيليكا أو ثاني أوكسيد السيليكون،و هو مركب كيميائي يتكون من السيليكون و الأكسجين .

و تتكون هذه السيليكات[24] من SiO2الميكا المتعددة مع العناصر الكيميائية المختلفة بالإضافة إلى التلك ،و يكون التماسك(كما هو موضح في الشكل رقم 26الأسفل) بين هذه المواد مضمون بواسطة روابط كيميائية سواء أيونية أو معدنية.

[21] الموسوعة العربية العالمية 2004 . نفس المرجع .

[22] encyclopédie universalis 2012.

[23] ثروت محمود إبراهيم حجازي ،الأسس العلمية لعلاج وصيانة المكتشفات الأثرية في الموقع الحفائر.القاهرة .ص 45.

[24] J-f – marcou, ibid p 25.

المحاسن	المساوئ
المقاومة ضد التعرية المقاومة ضد التقادم المقاومة ضد التلف مقاومة للتدهور الحراري مقاومة للتفاعلات الكيمياوية مقاومة للضغط عازلة للحرارة و الكهرباء	la fragilité

الجدول (04) يمثل أهم محاسن ومساوئ الخزف

كما تظهر كلمة الخزف أو مجموعة من المواد التي تتفرع عنها مثل:

- الخزف التقليدي
- الأكاسيد النقية
- الزجاج
- الإسمنت
- مواد ذات أساس كربوني
- إذا ان هذه المواد تستعمل في مجالات عديدة.

2- أنواع الخزف:

2-1- الخزف الطيني:

هو نوع شائع الاستعمال ،يصنع من مزيج أنواع الطين الصالحة ويحرق هذا النوع من الخزف في درجة حرارة منخفضة و يتميز بسهولة كسره.

2-2-الخزف الجيري:

هو نوع صلب و ثقيل يصنع من مزيج من الطين الحجري و يحرق في درجات حرارة عالية ما يؤدي إلى جعل سطحه مصقولا ،كما يعد أكثر ثقلا.

2-3-الخزف الصيني:

يعد أكثر أنواع الخزف صفاء ،كما يمكن تقسيمه إلى نوعين : صلب العجينة و يحرق في درجة حرارة عالية ،و نوع العجينة الذي يضم الأواني الصينية و الذي يحرق في درجة حرارة منخفضة.

3- المواد الأولية المستعملة في صناعة الخزف :

1-3- تعريف الطينة

يمكن تعريف مادة الطينة على أنها كل المعادن ذات حبيبات صغيرة جدا " minéralogie" و غالبا يعتبر علماء الجيولوجية كل المعادن ذات حبيبات غاية في الصغر[25]،أين نجد حجم الحبيبات أقل من µm2 (ميكروميترات) و يكون مصدرها الصخور و الأتربة الناتجة عن تفتتها. أما كلمة الطين فهي مادة من الأرض مكونة من أنواع معينة من معادن السيليكات. يتكون الطين أساسا من حبيبات صغيرة جدا صفائحية الشكل من الألومونيوم و السيليكا مرتبطة معا بالماء. توجد مواد مختلفة مثل أكسيد الحديد ،يمكن أن تعطيه ألوانا مختلفة مثل أكسيد الحديد يمكن أن يكسب الطين اللون الأحمر. أما المركبات الكربونية فتعطي ظلالا مختلفة من اللون الرمادي.

2-3- المعادن الطينية :

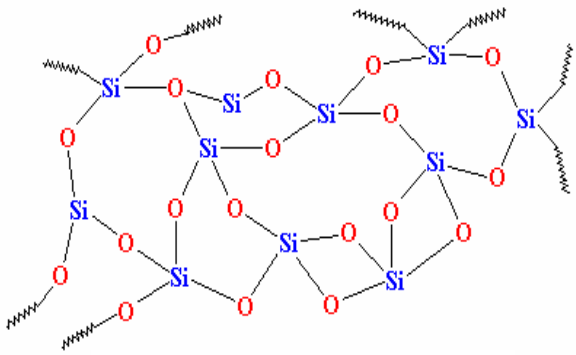
تتكون المعادن الطينية من الفيلوسيليكات المائية الممزوجة مع الماء (hydraté) تبدو ذراتها على شكل صفائح موضوعة فوق بعضها البعض. هذه الأخيرة نجدها تتكون من عنصرين أساسيين أو وحدتين قاعديتين هما:

[25] عبد اللهاب محمد فهمي ،دراسات نظرية وعلمية في حقل الفنون الأثرية وطرق ومواد الترميم الحديثة ،القاهرة ،1985 ،ص 78.

رباعي المثلثات السليكاني(SiO_4)tétraèdre de silice و شكل ثماني الأوجه من الألومنيوم octaèdre d'aluminium($Al(OH)_6$) كما هو موضح في الشكل.26

الوريقة الفاصلة بين الورقتين أو الصفحتين المتطابقتين ،كما أنّ التغيرات في الذرّات يحث غالبا في الوريقات و الهيكل الكريستالي ما قد يؤدي إلى تهديد نظام هذا الهيكل.(الشكل 26)

المعادن الطينية أهمية بالغة نظرا لقوتها المؤثرة في الخواص الفيزيائية للطينة ،و يظهر ما يؤكد ذلك عند دراسة مثلث نسب التربة. فالتربة تحتوي على أكثر من 40% من مكوناتها معادن طبيعية تعتبر طينية ،بينما التربة فتحتاج إلى أن يكون حوالي 90%من الرمل حتى تعتبر التربة رملية و يرجع ذلك للصفات الفيزيوكيميائية للمعادن الطينية ذات تأثير عميق

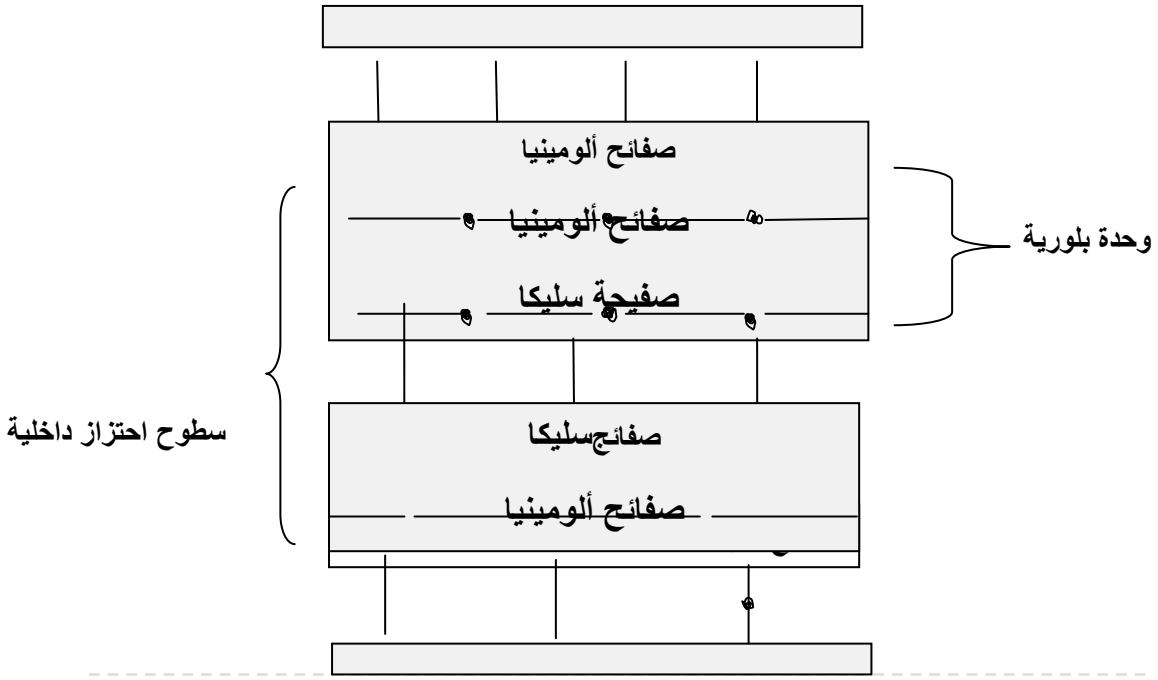


الشكل(25) : يبين الشكل المنتظم للسليس

على العديد من التفاعلات الكيميائية للتربة،و ذلك بسبب النشاط العالي لمساحة السطح (الشد السطحي (tension superficielle) . يشير لفظ الشد (active)الى الشحنات التي تتطور على أسطح المعادن الطينية و قابلية بعض أنواع المعادن الطينية للتمدد . تتروح السليكات الألومينياتية[26]في جزئ الطين من المتبلورة إلى قليلة التبلور و حتى غير المتبلورة وقد اتضح ذلك للباحثين من خلال الفحص بحيود الاشعة

[26]**GVANILDO alves de azeredo .mise au point des procédures d'essais mécaniques sur les mortiers de terre , thèse pour l'Obtention du grade de docteur , institut nationale des sciences appliquées de Lyon, 2005 , p121.**

السينية،و هي جميعها تتركب من وحدات متكررة من :ذرة سليكون محاطة بذرات أكسجين في تشكل رباعي السطوح.tétraèdre



المعادن الطينية من نوع (1.1) كما في الكاولنيت

المعادن الطينية من نوع (1.2) كما في معدن المونتموريونايت

الشكل (26): رسم تخطيطي للصفائح المكونة للطينة

*ذرة الأمونيوم مغنسيوم ،أو حديد محاط بذرات أكسجين و مجموعات هيدروكسيد في شكل جسم مثمن الأسطح .

والوحدات المتكررة ترتبط لتكون صحائف تعرف بالصحائف (رباعية الأسطح) **tétraèdre**.(ثمانية الأسطح octaèdre)و التي تتحد كيميائيا. توجد ثلاث أنواع من السيليكات الألومينياتية المتبلورة في جزء الطين ،جميعها متراصة واحدة فوق الأخرى[27] ،منتجة بلورات صفائحية لها غالبا أسطح متسعة مستوية لكن حوافها قليلة السطح.[28]

يبين الجدول التالي الأنواع الرئيسية للمعادن الطينية :

الجدول رقم (05) : أهم أنواع المعادن الطينية و تركيبها

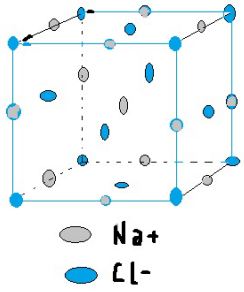
نوع مجموعة المعادن الطينية	تركيبها	أمثلة
معادن طينية من نوع (1:1)	صحيفة رباعية الأوجه صحيفة ثمانية الأوجه	كاولينيت هالويسيت
معادن طينية من نوع (1:2)	2 صحيفة رباعية الأوجه 1 صحيفة ثمانية الأجه	بيروفيليت إليت فيرميكوليت السميكتيت و من أهم أمثلتها المنتموريونيت
معادن طينية من نوع (2:2)	2 صحيفة رباعية الأوجه 1 صحيفة ثمانية الأوجه + طبقة داخلية ثمانية الأوجه من هيدروكسيد المغنيسيوم أو هيدروكسيد الألومنيوم	الكلوريت

27 GVANILDO alves de azeredo, idem, p 25 .

28 J-f – Marcou, ibid, p 204 .

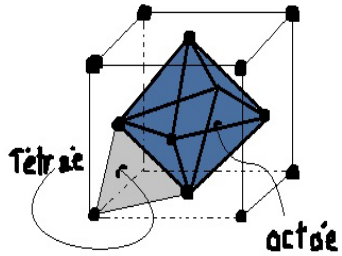
و تؤثر خواص المعادن الطينية المختلفة في خواص التربة[29] و تفاعلها مع المادة الأثرية المدفونة بها و ما تصل إليه من درجة الحفظ و كذلك في عمليات التنقيب في الآثار.

- **كلورور الصوديوم**



كل ذرة من الصوديوم تفقد إلكترونا تستفيد منه ذرة الكلور و التطابق يتم من خلال الجذب الإلكتروستاتكي بين Na^{+30} و Cl^- عند بلوغ الجذب الإلكتروستاتكي ذروته يكون كل من Na^+ يملك 6 من Cl^-و العكس صحيح. و يوضح لنا الشكل التالي تموضع الذرات Na^+و Cl^-في الشبكة.

- **رباعي السطوح و مثمن الأسطح**



ذرة سيليكون محاطة بذرة أكسجين في شكل رباعي السطوح Tétraèdre.ذرة ألومنيوم،مغنيسيوم[31] أو حديد محاطة بذرات أكسجين و مجموعات هيدروكسيد في شكل جسم مثمن الأسطح octaèdre

[29] محمد ماجد عباس خلومي ،نفس المرجع ،ص 145 .

[30] J-f – Marcou, opcit, p 23 .

[31] Emitionkoller génie chimique, 3e édition, l'usine nouvelle Dunod, Paris, 2009, p 71.

- **الزركون ($Zr\ O_2$)**

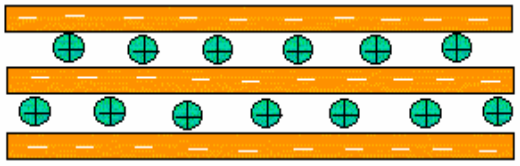
الزريكون هو نوع من الخزف يستعمل كثيرا في الصناعة تركيبته تتكون من تموضع للزريكون مع أيونان O_2 في أشكال رباعية السطوح.

كما يوجد شكلين من رباعي السطوح لكل ذرة من الشبكة ،الصيغة الكيميائية لزركون هي ZrO_2

- **الألومين**

هي عبارة عن خزف مهيكل يستعمل في الميدان الصناعي و بنيته الكريستالية هي عبارة عن تموضع أو تراكم للأيونات الأوكسجين مع أيونات الألومنيوم Al^{3+}يحويها الشكل مثمن الأسطح.

3-3- التركيبة المجهرية للخزف :

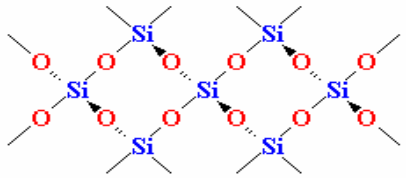


يمكن تقسيم السيراميك إلى قسمين حسب التركيبة الكريستالية ،حيث نجد: ذات التركيبة الكريستالية و عديمة الشكل. الشكل (27): يمثل البنية المجهرية لعجينة الخزف

3-3-1- الخزف الأيوني:

يمكن التعريف بين الخزف من خلال الرابطة الكيميائية المشكلة بين نواة المادة المكونة للجزيئ، حيث نجد الرابطة الأيونية فهي تتكون من معدن و غير معدن. مثال:

- كلورور الصوديوم (NaCl)
- الماغنيزيوم(MgO)
- الألومين (Al_2O_3)
- الزيركوت (ZrO_2)



SiO_2 in it's crystalline form, quartz.

الشكل (28 أهم العناصر الكميائية المكونة للمادة الخزف)

قوة الجذب الإلكتروستاتكية بين الشحنات السالبة تمثل المصدر الأساسي للرابطة[32]. و الشوارد تتبنى تكاثفا خفيفا للحد من الفاصل بين الشحنات السالبة.

هذا التكاثف أيضا مراقب و يتم تحديده من أجل تجنب لقاء شحنات من نفس النوع ، البنية الخاصة بهذا النوع من الخزف دائما ما يكون كريستالية.

3-3-2- الخزف الأيوني البسيط

إنّ أغلبة الخزف الأيوني التشكيلة AB ذات تركيبة قريبة من تلك الخاصة بالكلور الصديوم الذي يستعمل كملح الطعام.

[32] د عبد الهادي محمد ،صيانة وترميم الآثار الغير العضوية،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة ص 120 .

4- أسباب تلف الخزف :

تتعرض الآثار الخزفية بمختلف أشكالها إلى جملة من العوامل والقوى الفيزيوكيميائية التي تحدث أضرار خطيرة تؤدي غالبا إلى التلف والتدهور،و يمكن حصر هذه العوامل في ما يلي

أ- **عيوب التصنيع:**

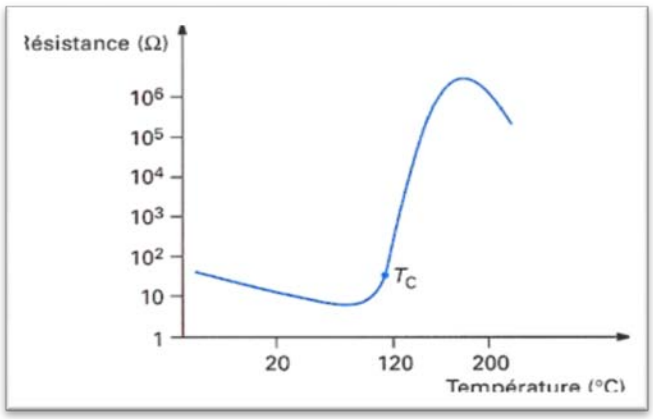
ب-عوامل التلف الفيزيوكميائية (حرارة ،رطوبة ،تلوث جوي ،مياه أرضية حاملة للأملاح المختلفة)

ج- تلف بيولوجي (بكتيريا،طحالب ،فطريات)

د- سوء العرض و التخزين.

4-1- عيوب التصنيع و الحرق:

ما يميز المواد الخزفية أنّها مصنوعة من مكونات معدنية و غير معدنية كما لاحظنا ذلك في المعادن الطينية المكونة للمادة الأولية للخزف. لهذا السبب تتعرض الأواني الخزفية للتلف بمرور الوقت نتيجة تفاعل هذه المكونات مع عوامل



الشكل (27) :منحنى بياني يبين مقاومة الطينة للحرارة*

* encyclopédie universalis 2012.

و قوى التلف المختلفة الأمر الذي يترتب عليه حدوث أضرار بالغة للتركيب الفيزيائي لتلك الأواني.كما أنّ الإنسان القديم لم يكن لديه وسائل إحراق جيدة تمكنه من حرق الأواني الفخارية حرقا جيدا و إنما صنع لحرق الأواني قمائن بدائية لم تحترق بداخلها الأواني كلية ، الأمر الذي ترتب عليه جرد أجزاء غير مكتملة الاحتراق داخل هذه الأواني و أجزاء متوسطة الاحتراق.

يمكن إضافة الشوائب الموجودة في المكونات التي صنعت منها الأواني الفخارية ، قامت بدور هام سواء في تنشيط التفاعلات الفيزيوكيميائية بين تلك المكونات و عوامل و قوى التلف أو نالت هذه الشوائب مصدرا من مصادر التلف في تلك المواد.

2.4- تدهور الخزف بفعل الإهمال :

إنّ الخطر المحدق بالخزف المدفون أو المهمل في وسط و ظروف معينة يتوقف عند درجة المسامية الموجودة في البنية الأولية للمادة. هذه المسامية تسمح بتبادل بين الخزف و المحيط الخارجي أو البيئة المحيطة ،لذى يجب الأخذ بعين الاعتبار حركية و نشاط بيئة الدفن (التربة).

ويعد الماء المؤشر الأساسي لهذه التبادلات الذي قد يؤدي طمس المعلومات،و يقف عائقا في طريق عمليات التحليل و الترجمة و يعد أيضا دربان الجير مصدرا أساسيا من مصادر الأملاح الذائبة في الماء[33] ،فالجير الموجود داخل الخزف المسامي (في بعض الأحيان نجد كمية معتبرة طينية جيرية) و بشكل كبير ينتج عن التحلل الذي يتسلل و يسير داخل الحقنة ،خاصة إذا كانت هذه المحاليل حامضية.

[33]**GVANILDO alves de azered ,ibid, p 39 .**

الكثير من الأملاح الذائبة يمكن أن تهاجر مع الماء داخل الخزف المسامي المدفون[34] ،هذه الأملاح تصبح صلبة بعد التبخر الذي يحصل للماء الذي امتصته خلال الدفن .

4-3- عوامل التلف الفيز وكيمياوية :

تعتبر الحرارة الحيوية و الرطوبة و التلوث و المياه الأرضية الجوفية التي غالبا ما تحمل معها الأملاح الذاتية ،من أكثر العوامل تأثيرا على الخزف كما يعد اختلاف معدلات الحرارة سبب في اختلاف معد التمدد و الانكماش في المعادن الطينية المكونة للخزف ،ما يؤدي في الأخير إلى الانفصال عن بعضها البعض و يفقد التركيب قوته وتماسكه و تأتي الرطوبة في الدرجة الأولى من حيث تأثيرها على الخزف حيث تسبب معدلات الرطوبة المرتفعة إلى تبلور أو إعادة تبلور[35] الأملاح الموجودة داخل تلك الأراضي فضلا عن ذوبان بعض المكونات القالية للذوبان في الماء و خاصة في الأواني التي لم ترتبط مكوناتها جيدا.كما تعتبر الركوبة الممتصة الوسط الملائم لنمو الكائنات المجهرية على أسطح تلك الأراضي ويبقى تأثير الرطوبة المنخفضة ،وإن كان ضئيلة ليس بذات الخطورة الناتجة عن معدلات الرطوبة المرتفعة ،إلا أنها تعد خطرا على الخزف بالإضافة إلى الرطوبة بكل أنواعها،كما نجد التلوث الجوي الغازي و السائل و الصلب الذي يحدث أضرارا فيزيوكيميائية خطيرة للمعادن الطينية المكونة للخزف ،حيث تأتي أحماض غازات التلوث الجوي مثل حمض الكبريت[36] و حمض البتريك و حمض الكربون في تلك المكونات الخزف ،فضلا عن أن تلك الأحماض تتسبب في تلف الألوان و المواد المترجمة التي استخدمت في الزخرفة .

---

[34]عبد اللهاب محمد فهمي ،دراسات نظرية وعلمية في حقل الفنون الأثرية وطرق ومواد الترميم الحديثة الشروق للنشر القاهرة ،1995 ،ص19.

[35]ماري بيرديكو ،الحفظ في علم الآثار ،ترجمة : احمد الشاعر ،القاهرة ، 2002 ،ص526.

[36]د جعفر زهير فضل ضيف الله ،صيانة وترميم المكتشفات الأثرية ،احدث الوسائل والتقنيات العالمية ط1 دار قابس للنشر والتوزيع بيروت لبنان 2006 ص 75.

كما تسبب الملوثات الصلبة من أتربة و سنلاج و حبيبات كربون و غيرها من الملوثات الضارة تتسبب في تلف مواد الزخرفة على سطح .كما تعد المياه الجوفية الموجودة في التربة التي تحتوي على المواد الخزفية من أخطر عوامل التلف لأنها تشمل نسبة عالية من الأملاح الذائبة مثل ملح كلوريد الصوديوم و كبريتات و كربونات الكالسيوم و البوتاسيوم و الصوديوم و كلها أملاح تتسبب في تلف و تفتت المكونات المختلفة للأواني الخزفية .

4-4- عوامل التلف البيولوجي :

تعد البكتريا و الطحالب و الفطريات التي تنمو على سطح بعض الأواني الخزفية المعرضة للرطوبة في تلف ما على أسطح تلك الأواني من مواد ملونة إذ تتحول الألوان مع مرور الوقت إلى ألوان باهتة و هشة ،حتى يذهب جمالها بعد التهام الكائنات للمادة الوسطية للألوان.

الخلاصة :

تعتبر الحرارة الحيوية و الرطوبة و التلوث و المياه الأرضية الجوفية التي غالبا ما تحمل معها الأملاح الذائبة من أكثر العوامل تأثيرا على الخزف ،كما يعد اختلاف معدلات الحرارة سبب في اختلاف معدل التمدد و الانكماش في المعادن الطينية المكونة للخزف ،ما يؤدي بهذا الأخير إلى الانفصال عن بعضها البعض و يفقد التركيب قوته وتماسكه و تأتي الرطوبة في الدرجة الاولى من حيث تأثيرها على الخزف ،حيث تسبب معدلات الرطوبة المرتفعة الى تبلور أو اعادة تبلور الأملاح الموجودة داخل تلك الأراضي فضلا عن ذوبان بعض المكونات القالية للذوبان في الماء و خاصة في الأواني التي لم ترتبط مكوناتها جيدا.كما تعتبر الرطوبة الممتصة الوسط الملائم لنمو الكائنات المجهرية على أسطح تلك الأراضي ويبقى تأثير

الرطوبة المنخفضة وإن كان ضئيلة ليس بذات الخطورة الناتجة عن معدلات الرطوبة المرتفعة . إلا أنها تعد خطرا على السيراميك بالإضافة الى الرطوبة بكل أنواعها،نجد التلوث الجوي الغازي و السائل و الصلب،تحدث أضرارا فيزيوكيميائية خطيرة للمعادن الطينية المكونة للسيراميك ،حيث تأتي أحماض غازات التلوث الجوي مثل حمض الكبريت و حمض الكبريتيك و حمض الكربون في تلك المكونات ،فضلا عن أن تلك الأحماض تتسبب في تلف الالوان و المواد المترجمة التي استخدمت في الزخرفة ،كما تسبب الملوثات الصلبة من أتربة و سنلاج و حبيبات كربون و غيرها من الملوثات الضارة التي تتسبب في تلف مواد الزخرفة على سطح .

قائمة المصادر والمراجع :

باللغة العربية :

1- عبد المعز شاهين ،ترميم وصيانة المباني الاثرية والتاريخية ،مطابع المجلس الاعلى للآثار القاهرة 1994

2- ماري بيرديكو ترجمة : احمد الشاعر– الحفظ في علم الآثار ،القاهرة ،2002.

3- محمد عبد الهادي محمد ، مبادئ الترميم وصيانة الاثار الغير العضوية ،كلية الاثار ،القاهرة 1996.

4- محمد ماجد عباس خلومي ،استطلاع المواقع وأبحاث التربة والأساسات ،ط5 ،دار النهضة العربية ،1991.

5- ثروت محمود ابراهيم حجازي ،الاسس العلمية لعلاج وصيانة المكتشفات الاثرية في الموقع الحفائر.القاهرة .

6- عبد اللهاب محمد فهمي ،دراسات نظرية وعلمية في حقل الفنون الاثرية وطرق ومواد الترميم الحديثة ،القاهرة 1985 .

7- د عبد الهادي محمد ،صيانة وترميم الاثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة ،2001.

8- د جعفر زهير فضل ضيف الله ،صيانة وترميم المكتشفات الاثرية ،احدث الوسائل والتقنيات العالمية ط1 دار قابس للنشر والتوزيع ،بيروت لبنان ،2006 .

9- الموسوعة العربية العالمية 2004 .

المصادر والمراجع باللغة الاجنبية :

1- Véronique Cebal ,Christiane, tamisier rocheset minéraux mini encyclopédie Paris.

2- DJEBBAR TIAB and ERLE C. DONALDSON, theory and practice of measuring reservoir rock and fluids transport properties, imprint of Elsevier, USA ,2004.

3- James Coignet. Laurent Coignet ,la maison ancienne : construction ,diagnostic, Intervention .3éme tirage, s. éd , 2005 .

4- J-f – Marco ,chimie des solide sciences, paris, 2004.

5- P agti-n techniques appliquée dans l'études de la résistance des matériaux ,mécanique des fluides thermodynamique ,édition Dunod, Paris 1996 .

6- Jean -Pierre Ndoutoum .Efficacité Energétique de la climatisation en régions Tropicale ,Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie. Québec (Qué.) Canada.

7- Laffont carolin , le contrôle de climat: fiche pratique, école nationale des sciences de l'information et des bibliothèques, édition biblio ,Françe,2008 .

8- Noud (c) . l'humidité relative et la température ;conservation préventive dans les musées . canada .1995

9- GVANILDO alves de azeredo .mise au point de procédures d'essais mécaniques sur mortiers de terre , pour le grade de docteur .institut nationale des sciences appliquées de Lyon 2005.

10-Emitionkoller génie chimique 3^{e} édition l'usine nouvelle Dunod . Paris 2009.

الفصل الثالث

صيانة وعلاج المواد الاثرية (الحجارة والخزف)

لقد أصبح علم الصيانة اليوم يعتمد على مبادئ أساسية يجب مراعاتها في كل عمليات الصيانة والتدخل على التحف الأثرية او المعالم التاريخية ،بداية من الفحص الأولي إلى غاية عمليات التدخل الأدنى ،مرورا بالصيانة الوقائية وتطابق المواد و إمكانية نزعها .

أن الاقتراحات المقدمة في أعمال الصيانة لا تعني التدخل المباشر على المادة الأثرية بتطبيق طرق غير معروفة النتيجة ،لكن تعني العمل وفق المراحل التالية :

- القيام بعملية الفحص التشخيصي الأولي الخاص بتقدير حجم التلف ،وهي عملية تتم خلال الدراسة القبلية للأعمال .
- العمل على إيقاف مسار التدهور ،وذلك باستهداف محيط المعلم أو الأثر .
- ترميم التحفة (إصلاح استكمال الأجزاء ،تدعيم)
- حماية التحفة من التدهور الذي يحصل مستقبلا وهذا بضمان عمليات الصيانة الدورية .

في الآونة الأخيرة ظهرت تقنيات جديدة وأشكال جديدة لعمليات الصيانة ،وقد جاءت مكملة لهذه المقاربة أو المحاولة والهدف هو ترسيم أكثر لمستوى التدخلات ،اومحاولة الحد منها قدر المستطاع ،ما ادى الى ظهور جملة من المبادئ والمراحل المتبعة منها المرحلة الاولية .

إن أهمية هذه المرحلة التي تسبق عملية التدخل من اجل الصيانة أصبحت معترف بها ،فهي تتم غالبا في إطار جميع **" الدراسات الأولية "** التي تسبق الأعمال وتسمح لمسئول المشروع او المتخصص بالقيام ببحث تاريخي ،وتحقيقات علمية وتجارب للمواد المستعملة ،والمناهج المتبعة والمتوفرة من اجل وضع أسس متينة لمشروع ترميم موثق ،كما يمكن أن تتم حسب الاحتياجات بالتعاون مع مؤرخ في الفن ،أو مرمم .

أ الحجارة :

أ - 1- الطرق الميكانيكية المستعملة في علاج وصيانة الحجارة :

يعتمد تحديد الطرق الملائمة لعلاج وصيانة الحجارة كما اشرنا في السابق على طبيعة الأثر وكذا أسباب تلفه ومظاهر هذا التلف[1] ،والمكونات الأساسية له ،بالإضافة إلى تقدير التأثير الذي يسببه المحيط الخارجي لهذا الأثر (رياح ،حرارة ،رطوبة ،ضوء) فالطرق الملائمة للعلاج القطع المعروضة في المتحف لا يمكن تطبيقها على المباني الأثرية ،ما يستدعي وضع دراسة ومخطط خاص بالصيانة وترميم هذه الآثار .

فبالنسبة للحجارة يجب تحديد خواصها الكيميائية والطبيعية[2] ،والفيزيائية وبعدها تحديد عوامل التلف وتقدير درجته قبل أي تدخل مباشر على الأثر ،ومن ثم التنظيف بأنواعه المختلفة ،من الجاف ثم إزالة الأملاح والتنظيف باستعمال المياه وفي حالة هشاشة الأثر يجب القيام ببعض عمليات التقوية الاستعجالية من اجل إيقاف التدهور وبالتالي التمكن من التدخل .

[1]- السيد محمود البنا ،المدن التاريخية خطط ترميمها وصيانتها ،مكتبة زهراء الشرق القاهرة 2002 ص 16.

[2] - عرفان سعيد ،المدن التاريخية ،سبل الحفاظ عليها وإحيائها . دار أفاق عربية 1987 ص 52.

I. 1-1- التنظيف الميكانيكي والكيميائي واستخلاص الأملاح :

1-1- التنظيف الميكانيكي :

يهدف هذا التنظيف إلى إزالة الغبار والعوالق[3] الموجودة على أسطح الأثر ،ويتم تنظيفها بطرق عادية كما تمكن هذه الطريقة من القضاء على الأملاح المترسبة[4] على أسطح الحجارة وبقايا أعشاش بعض الحشرات بأدوات خاصة .

1-1-2-التنظيف الكيميائي:

هي عملية تأتي مباشرة بعد عملية التنظيف الميكانيكي وتعتمد أساسا على مدى تحمل الأثر للعلاج وبطبيعة الحال حسب حالته ودرجة تدهوره ،وتتم هذه العملية باستخدام المنظفات المختلفة ،ففي البداية نعتمد على الماء المقطر ،كما يمكن إضافة صابون متعادل[5] مع منظف مثل الليسابونlissapo مع الماء للتنظيف ،وتسهل المذيبات الهلامية وهي محاليل ضعيفة تتميز بقيمة الأس الهيدروجيني اقل من 7-8 ومن المنظفات الصناعية المستعملة في التنظيف أيضا ،نجد ثلاث أنواع وهذا حسب خواصها :

- منظفات أيونية
- منظفات متعادلة

---

[3] احمد إبراهيم عطية ، حماية وصيانة التراث الحضاري الأثري ،دار الفجر للنشر والتوزيع . القاهرة . ص88 2003

[4] Jurgen Roloff, ROlan Martin, RECHERCHE FRANCO-ALMANDE sur la conservation des pierres et du vitrail ,impression Damas France, 1999, p 158,176.

5- [5]ثروت محمود إبراهيم حجازي ،الأسس العلمية لعلاج وصيانة المكتشفات الأثرية في الموقع الحفائر. القاهرة .ص 45

- المذيبات العضوية الأخرى كالتراي[6]كلورواثلين ،والكحول الاثيلي والكحول **المثيلي** والأسيتون وغيرها من المواد الأخرى .

3-1-1- استخلاص الأملاح :

إن عملية إزالة الأملاح تستوجب معرفة جيدة لهذه الأملاح العالقة ،حيث يوجد نوعين من الأملاح ،أملاح قابلة للذوبان في الماء مثل كلوريدات أو نترات او كبريتات الصوديوم كذلك البوتاسيوم والأمونيوم والماغنزيوم والكالسيوم[7] حيث تكون جميعها قابلة للذوبان في الماء ،ويمكننا استخلاص هذه الأملاح سواء بإزالتها وهي جافة عند وجود بلورات الملح على سطح الحجر،وفي حالة وجود جذور لهذه البلورات يمكن تنظيفها بالطرق الميكانيكية ،في الأخيرك مع استعمال الكمادات .

أما الأملاح التي لا تذوب في الماء أو تذوب بشكل بطيء وشديد ،والتي تكون عادة عبارة عن كبريتات الكالسيوم (الجبس) أو كربونات الكاليسيوم (الجير) ،نجدها في بعض الاحيان على سطوح المباني الأثرية ،التي تغطيها طبقة من ملاط الجبس أو الجير ،حيث تتكون قشرة صلبة ومتماسكة لا تذوب من كبريتات الكالسيوم ،ويتم إزالتها بإستعمال محلول مخفف من حمض الهيدروكلوريك 5% ،وذلك بالطريقة الاتية :

(أ) تنظف أسطح الكتل الحجرية باستخدام فرشاة ناعمة .

(ب) تبلل السطوح بمحلول حمض الهيدروكلوريك وينتظر حتى يتم التفاعل ،ومن الضروري استخدام أقل قدر ممكن من هذا المحلول وأن يبدأ العمل في مساحة صغيرة ،ثم ينتقل بعدها ألى مساحة أخرى ،وهكذا إلى أن يتم العمل .

6- Jurgen Roloff, ROlan Martin, RECHERCHE FRANCO-ALMANDE sur la conservation des pierres ibid p158.

[7] السيد محمود البنا ،المرجع السابق ص 55

2- أهم المواد المستعملة في تقوية الحجارة:

2-1- عمليات التقوية:

تسبق عملية التقوية عملية التنظيف لإزالة الأملاح المعدنية و كذا الفضاء على مخلفات منتوجات التلف العالقة. و هذا دائما يتوقف حسب حالة الحجر فعند وجود قشور منفصلة فهذا يستدعي تقوية مثل القشور بطريقة الرش بالمواد الكيميائية[8]،و ذلك باستخدام المقويات المناسبة و المخففة ،و بعد تثبيت هذه الطبقة يمكن وضع إضافة المذيبات و الطرق الميكانيكية الكلاسيكية و يبقى الاهتمام بنقطة مهمة هنا ،هي لزوجة هذه المواد فإذا كانت ذات لزوجة عالية لن يسمح هذا بتغلغلها داخل مسام الحجر بسبب تبخر المذيب بسرعة شديدة أثناء التقوية ،و قد يؤثر هذا على القشرة.

2-1-2- المقويات غير العضوية:

كما هو معلوم فإنّ للحجارة حبيبات رابطة لطبقات المكونة للحجارة ،فإنّ هذه المقويات العضوية تمتاز بالقدرة الفائقة على ربط هذه الحبيبات[9] بعضها البعض و من هذه المقويات:

[8] عبد الهادي محمد ،دراسة علمية في ترميم وصيانة الآثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق القاهرة 1996 ص 99 .

[9] GIORGIO TORRACA solubilité et solvants utilises pour la conservation des biens culturels, 5éme édition ,alliance of américaniserais , U.S.A ,1980, p33 .

- سليكاتاالصديوم و البوتاسيوم
- ألومينياتاالصديوم و البوتاسيوم
- هيدروكسيد الكالسيوم
- هيدروكسيد الباريوم
- فلوسيكات زنك الكالسيوم

2-1-2- المقويات العضوية:

و تشمل الراتنجات الحرارية كالمواد الأكريليكية التي تمثل المواد الأكثر استعمالا بالنسبة لحقل العلاج و الحفاظ.

*** راتينجات الكولد استينج:**

و تستدعي درجة حرارة عالية لصنع هذا النوع من الراتنجات (23%) ،إضافة إلى الوقت اللازم للتمديد. و تشمل خاصة راتنجات الأيبوكسي و البوليستير[10] و السيليكون. و يتميز راتنج الأيبوكسي أنّه مادة جيدة لمعظم المواد و مقاومة للماء و العديد من المواد الكيماوية و اللواصق و المقويات التي تعتمد في تركيبها على راتنجات الأيبوكسي و راتنج الآرالديت، و هي ذات درجة لزوجة متفاوتة لاستخدامها في صيانة أغراض أخرى.

[10]د جعفر زهير فضل ضيف الله ،صيانة وترميم المكتشفات الأثرية وأحدث الوسائل والتقنيات العالمية ،ط1 ،دار قابس للنشر والتوزيع ،بيروت لبنان ،2006 ،ص 86.

*** راتنجات الترموبلاستيك:**

و هي مواد سهلة السيطرة خاصة بواسطة الحرارة. فهي تلين بالحرارة و تتجمد بالبرودة و هي تذوب بالمذيبات العضوية إلا إذا كانت ذات تبلمر عال جدا و هي تتألف من سلاسل طويلة من جزيئات مفردة وصف أمثالها: الفينيل المبلمرة و البولي إيثيل أكريلات و البولي إيثيل أكريلات.[11]

*** راتنجات الترموستنج**

نحصل عليها من خلال تفاعلات التكثيف و بين هذه الجزيئات في ظل معدلات حرارة عالية حتى تتصلب و تأكد شكلها النهائي و بعد التجمد ،و هي غير قابلة للإرجاع بعد تجمدها: راتنجات الفينول[12] ،لدائن الفورمالدهيد ،لدائن الميلامين.

[11]THIERRY MEYER .JOS KEURENTJES .handbook of polymer reaction engineering , federation institute of technology ،Switzerland .p 09.

[12]PAUL PHILIPPOT, conservation des antiquités et des ouvres d'art édition Seyroles .boulevarde saint-germain –paris, 1966, p258 .

3- أهم الطرق المعتمدة في تقوية الحجارة:

3-1- تقوية الشبكة الداخلية (النسق):

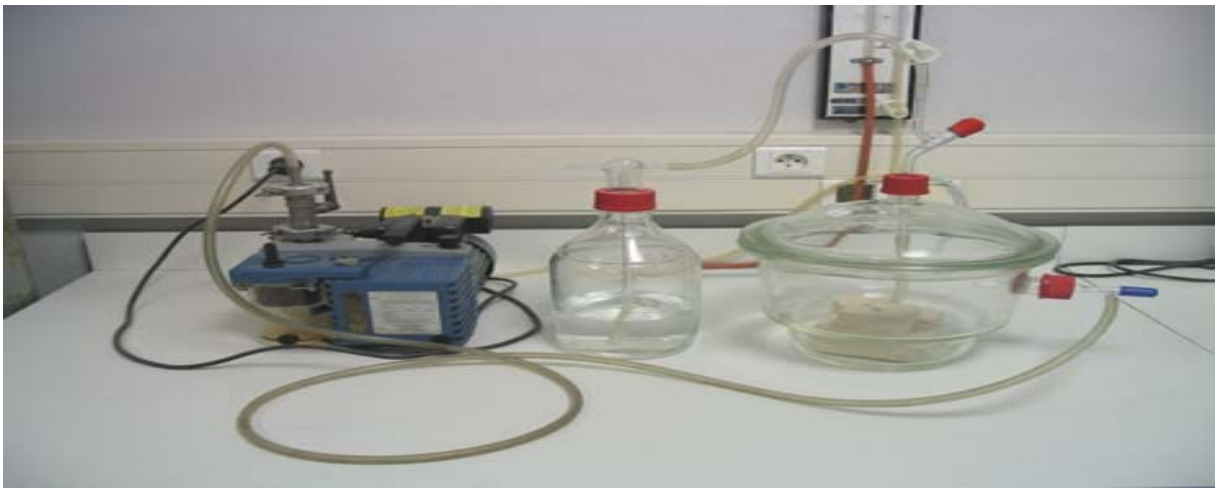
3-1-1- التقوية بالغمر:

يتم غمر الحجارة المسامية في المقويات الكيميائية المناسبة و المرشحة لهذا الغرض بإتباع بعض الخطوات:

1. يتم غمر الأثر في الأستون فترة من الوقت لتفتيح مساميه.
2. ثم يوضع الأثر بعد ذلك في حوض مجهز و يغمر بالمقويات الكيميائية الذائبة في المذيبات العضوية.
3. يتم إزالة الطبقة الرقيقة التي تكونت على أسطح الأحجار بالمذيبات العضوية و نلاحظ أنّ الغرض من وضع الأستون عند بداية العلاج و ذلك بعد تفتيح المسامات لضمان تسرب المقوي بعمق داخل الحجر (مسامات) بعد تبخر المذيب يبقى المقوي.

3-1-2- التقوية بواسطة خلخلة الهواء :

تهدف هذه الطريقة من التقوية التي تسرب و تخلل وولوج المقوي الكيميائي الأحجار على عمق أكثر نسبيا داخل الأثر الحجري حيث يتم بواسطة عملية التفريغ أو امتصاص الهواء و بعمق كاف و بصفة عامة فإنّ طريقة التفريغ تستخدم في حالة المسامية المنخفضة لا ينجح معها الغمر.



الشكل (29) تمثل العلاج الجاف بامتصاص المحلول (المخبر البيداغوجي)

II. : علاج و صيانة الخزف:

إنّ الدور المهم الذي يلعبه المرمم هو بالدرجة الأولى الحفاظ على مثالية التحفة و الثانية هي ثبات المواد ،فكل ما تم استعماله و إضافته خلال عمليات التدخل يجب أن تكون قابلة للتنوع في أي لحظة. هذا إذا كان وجودها أصبح مهددا للمادة من وجهة نظر الجمالية و العلمية.

حتى ثبات المواد الأولية. لذا فكلما تعرضت التحفة للترميم كلما قلت مثاليتها و أصبحت عديمة الفائدة و معلوماتها التي يمكن أن نقدمها أقل قيمة.

لذا فيجب أن تكون عمليات التدخل متحفظة لأقل درجة لتجنب حذف المعلومات ،أو ما يسمى التدخل الأدنى ،و تهدف عملية العلاج إلى تخليص الخزف من نواتج و مظاهر التلف المختلفة سواء ما تكون منها فوق أسطح هذه الآثار أو أسفل أسطحها و الهدف الأعلى من كل هذه التدخلات هو إطالة عمر هذه التحفة[13]. و يمكن تمييز نوعين من العلاج: الميكانيكي و العلاج الكيميائي.

1- العلاج الميكانيكي:

حيث تستعمل فيه أدوات و أجهزة معروفة لدى المرممين من أجل إزالة الترسيبات على الأسطح الخزفية من تراكم التلف المختلف. و يعتمد نجاح مثل هذا العلاج على حسن اختيار الوسائل و الأدوات في الأغراض المختلفة. فالمرمم يستخدم عدّة أدوات مثل الأزاميل الخفيفة و أنواع أخرى خاصة بمخلفات تميز بدرجة من التماسك و لم تتمكن الوسائل الأخرى من إزالتها.

[13] **عبد الهادي محمد ،المرجع السابق ،ص 149 .**

2- العلاج الكيميائي:

و هو الحل الثاني عند عدم نجاح العلاج الميكانيكي ،و يلجأ المرمم إلى علاج الآثار الخزفية و تخليصها من نواتج التلف و ذلك في حالة ما إذا كانت هذه الآثار لا تحتمل العلاج الأول أو عدم استجابة المادة للعلاج[14] و الأدوات المستعملة في العلاج الميكانيكي يمكن إضافة حالة اللقى التي لا تسمح بهذا.

و تستعمل طرق و مواد مناسبة في هذا العلاج و ذلك بتوجيهها توجيها صحيحا و يجب أن تكون مجربة من قبل و معروفة النتائج و يشترط في المواد الكيميائية المستعملة أن تكون

فاعلية في العلاج و ذات قوة احتمال ما يساعد ف حماية المادة لأطول مدّة ممكنة. و تمّر عملية العلاج الكيميائي بمراحل أهمها:

[14]**PAUL PHILIPPOT, opcit ; p352.**

2-1- التنظيف:

هو عملية تسبق التدخل المباشر و العلاج (تطبيق المواد العلاجية) لذا لا بد أن يقوم المرمم بإجراء العديد من الاختبارات الكيميائية على نواتج التلف لمعرفة نجاح هذه المواد و النتائج التي قد تنجم عنها و بالتالي معرفة وضعها و مطابقتها لما يسمى مبادئ الصيانة و الترميم (الثبات ،الإزالة ،المثالية ،الوضوح) و معرفة الوسائل المناسبة لإزالتها و نظرا للميزات التي يتميز بها الماء كمذيب طبيعي و نشط كيميائي يتم استخدامه في معظم عمليات العلاج خاصة التنظيف،حيث نجد في بعض الحالات الأثر يحتاج فقط إلى الماء (ماء ساخن ،مقطر) و حتى لا يتسبب الماء في تلف الآثار الخزفية فإنه يضاف إلى الماء قدر من المذيبات العضوية،كالأستون أو التلوين أو الكحول،تغمر الآثار الخزفية حسب حالتها بذلك في حوض يحتوي على ماء تقي و أسيتون أو تلولين[15] أو كحول فترة من الوقت لإزالة نواتج التلف التي لا تزول بالماء وحده.

[15] **د جعفر زهير فضل ضيف الله ،المرجع السابق ص 65.**

أما في حالة الأملاح المعدنية التي يصعب إذابتها في الماء الساخن أو الدافئ مثل أملاح الكربونات فيمكن إزالتها ميكانيكيا و كيميائيا باستخدام الأحماض[16] المساعدة و تكون خفيفة مثل حمض الكبريتيك أو الهيدروكلوريد ،و يساعد في هذا التنظيف الماء النقي ز ذلك تجنبا لتلف الخزف و بالنسبة للأواني الخزفية التي تحمل مختلف الزخارف سواء بالألوان أو الحاملة للتزجيج فيراعي الحرص الشديد عند تنظيف أسطحها بالمحلول المائي السابق ،حفاظا على الزخارف من المحلول

2-2- التقوية:

توجد عدّة محاليل و طرق لتقوية المواد الخزفية خاصة المحاليل الكيميائية المستعملة في تقوية البنية الداخلية الهشة ،خاصة عندما تكون المادة في حالة جد متقدمة من التلف الداخلي التي تؤدي الى فقدان تماسكها. و تعد المحاليل الكيميائية الأكريليية مثل البارالويد و البريمال و الكالتون من أهم المواد الكيميائية المذابة[17] في المذيبات العضوية بنسب تركيز مختلفة و التي تستخدم في تقوية المواد الأثرية الضعيفة لأنّها تتميز بلزوجة عالية تسمح لها بالولوج بسهولة في داخل المادة ،إضافة إلى مقاومتها لتأثير العوامل المناخية مثل الرطوبة و الحرارة و تضاف إليها نسبة معتبرة من المواد القاتلة للحشرات و الفطريات لكن تحمي الخزف من تأثير هذين العاملين. و من الطرق الأكثر استعمالا في تطبيق هذه المواد و

[16]احمد إبراهيم عطية ،المرجع السابق ،ص 98 .

[17]عبد الهادي محمد ،نفس المرجع ،ص 99

المحاليل طريقة الرش أو الحقن عبر الفجوات و الشقوق أو بالفرم إذا سمحت حالة هذه الآثار بذلك .

2-3-الحفظ و الصيانة:

و هي آخر العمليات التي تستهدف المواد الأثرية من أجل إطالة عمرها و يتعلق الأمر هنا بالمواد التي عولجت بمواد كيميائية مختلفة. و هي آخر و أهم العمليات العلاجية لأنّها تحمي الآثار من تأثير عوامل التلف المختلفة ،و من أهم المواد الكيميائية نجد محاليل المواد الكيميائية الأكريليكية أو السيليكونية ،فمن خلال رش أسطح الآثار الخزفية بنسبة تركيز

مناسبة من المحاليل السابقة مرات عدّة حتى يتأكد المرمم من تخلخل الكمية المناسبة داخل مكونات الخزف لحفظها ،و صيانتها من أسباب التلف المختلفة في الحاضر و المستقبل.

الصيانة هي نشاط و ممارسة حديثة الظهور و التي يمكن اعتبارها مكملة لأعمال الترميم الخاصة بالتحف الفنية و المعالم. فمبادئ الصيانة ،فالترميم تهدف على إعادة مثالية اللقى بشكل ما إلى شكلها الأصلي أو المثالي ،و هذا على ضوء التدخلات المهمة.

فهي في الغالب تؤدي إلى إصلاحات و تعويضات للحجارة مهمة ،حتى أنّها تقترب من التجديد الكامل أو إعادة بناء كلي للعناصر المفقودة.،لذا على المرمم التقليل من حجم التدخل إلى أقصى درجة وهذا تطبيقا لأهم مبادئ الصيانة والترميم (التدخل الأدنى) ،كما أنّها تتميز بالاستعمال العشوائي لمواد كثير ما يظهر من بعد أنها ليست نافعة ،لكن قابلة للنوع و مع استعمال مواد (حجارة ميلاط) غير مطابق مع المواد الأصلية.

و العكس مع المذهب الحالي الذي يتميز بتحديد أهداف و مبادئ أكثر حذرا. فالتدخلات تمت تعديلها و تخفيضها إلى أقصى درجة ،فهي فقط من أجل تحسين شروط الصيانة ،حالتها و محيطها ،و الهدف المهم و الأهم هو إطالة عمر التحفة.

أما المواد و العلاجات أصبحت اليوم متعددة و متنوعة ،فمنذ حوالي 30سنة استناد ميدان صيانة الحجارة من التطور الحاصل ميدان علوم التحليل و الاكتشافات الصناعية (التجديدات) ما أدى إلى التطور السريع في ميدان صيانة الحجارة ،فقد أصبحت تعتمد على التحاليل المخبرية الأكثر تنوعا و تعقيدا ،السليكونات ،الأرز ،تكنولوجيات الأحياء (علم الحياء) الألياف أو الكربونية بالإضافة إلى مواد أخرى و تقنيات متطورة. مواد و تقنيات قابلة للإرجاع ،أو إعادة التطبيق ،و متطابقة مع المواد المراد علاجها.

الخلاصة :

لقد ظهر علم الصيانة و الترميم ،وعرف تطورا كبيرا داخل المخابر الخاصة بعدّة دول ،أين يعمل علماء متخصصون في الفحص الأولي للتلف و تقرير و تحديد المواد و التقنيات الخاصة بالصيانة ،وتختلف طرق صيانة المواد الأثرية حسب طبيعة المادة المراد صيانتها إضافة إلى ما به من مظاهر التلف وأسباب التلف ،وتأثير البيئة والظروف البيئية المحيطة ،فعلاج أو صيانة معروضات المتحف يختلف عن علاج المباني الأثرية ،ولهذا السبب فان أعمال الصيانة والترميم يجب أن تجري على أسس علمية وفنية سليمة ومناسبة لطبيعة كل اثر والظروف المحيطة به ولذلك قبل البدء في العلاج الآثار الحجرية يجب دراسة عوامل التلف المختلفة والتي نرى أنها ذات تأثير مباشر على الأثر ،ويعد إزالة الأملاح المترسبة أولى عمليات التنظيف الأولية قبل البث في التنظيف الميكانيكي وكل هذا حسب ما تسمح به حالة الأثر .

قائمة المصادر والمراجع :

المصادر والمراجع باللغة العربية[1]

1- السيد محمود البنا ،المدن التاريخية خطط ترميمها وصيانتها ،القاهرة مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة ،2002.

2- احمد إبراهيم عطية ،حماية وصيانة التراث الحضاري الأثري ،دار الفجر للنشر والتوزيع ،القاهرة . 2003.

3- ثروت محمود إبراهيم حجازي ،الأسس العلمية لعلاج وصيانة المكتشفات الأثرية في الموقع الحفائر. القاهرة .

4- عبد الهادي محمد ،دراسة علمية في ترميم وصيانة الآثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة 1996.

5- د جعفر زهير فضل ضيف الله ،صيانة وترميم المكتشفات الأثرية ،احدث الوسائل والتقنيات العالمية ط1 دار قابس للنشر والتوزيع بيروت لبنان 2006.

قائمة المصادر والمراجع باللغة الاجنبية :

[1] - Jurgen Roloff, ROlan Martin, Recherche Franco-allemande sur la conservation des pierres et du vitrail ,impression damas ,France, 1999 .

2- Glorgio Torraca ,solubilité et solvants utilises pour la conservation des biens culturels, 5éme édition ,alliance of American insures , USA ,1980 .

3- Thierry Meyer .Jos Keurentjes .handbook of polymer reaction engineering .copyright ,suits federation institute of technology Switzerland .

4- PAUL Philippon, conservation des antiquités et des œuvres d'art,édition Seyroles, boulevarde saint-germain, Paris, 1999.

الفصل الرابع الجانب التطبيقي

محاولة تطبيق اللدائن الطبيعية في علاج المواد الاثرية

لقد خصصنا هذا الفصل للاختبار التطبيقي للراتنجات الطبيعية التي يمكننا استعمالها في علاج وتدعيم المواد الأثرية ،وفي دراستنا هذه اخترنا مادتين كثيرتي الاستعمال في الآثار وهي الحجارة بالنسبة للمباني الأثرية الثابتة ،و الخزف بالنسبة للمواد الأثرية المنقولة ،فقد عمدنا في هذا الفصل إلى تحضير عينات الراتنج الطبيعي من خلال إضافة مواد مساعدة في تحسين الخواص الفيزيائية للعينات مثل زيت الزيتون ،وغراء العظام ،وغراء السمك ،كما يشمل هذا الفصل التطبيقي وصفا كاملا للعينات المعدة للدراسة في جداول توضيحية للجميع العينات المختارة ،وأهم نتائج الخصائص الفيزيائية للعينات وتحليل النتائج.

1-أهم الراتنجات واللدائن الطبيعية :

1-1- تعريف الراتنج :

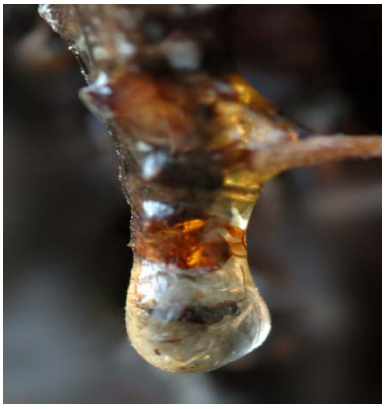
الراتنج هو افراز المواد الهيدروكربونية من النبات ،ولاسيما الأشجار الصنوبرية التى تكون قيمتها كبيرة في السوق لمكوناتها الكيميائية واستخداماتها ،مثل الورنيش والصمغ ،وبوصفها مصدرا هاما للمواد الخام وللتركيب العضوي ،والبخور والعطور،الراتنج الأحفوري هو مصدر العنبر .

الراتينج مادة صمغية من مصادر طبيعية ،وتستخدم في مواد التلميع والأدوية والصابون والأصباغ ،وفي مجالات أخرى. وقد حلَّت المادة الصناعية محل المادة الطبيعية بشكل كبير.

1-1-1- تعريف الصمغ :

مادة لزجة ،ويتم الحصول عليها من النباتات حيث يُعدُّ الصمغ للاستخدام بوساطة تذويبه في الماء. ويتكون من هذه العملية مزيج يعرف عموماً باسم **المادة اللاصقة** .يُستخدم هذا المزيج للصق أو تكثيف منتجات متنوعة أو للحفاظ على أشكالها. وقد استخدم قدماء المصريين الصمـــغ مادة لإلصاق الكتَّان الذي كانوا يلفُّون به المومياوات. والصمغ في الوقت الحاضر غراء شائع الاستعمال في لصق طوابع البريد والعلامات التجارية. كما أنه يُثَبت الألوان في الأصباغ وفي مستحضرات التجميل ، ويُستخدم الصمغ في صناعة الورق لأنه يعزل ألياف الخشب عن بعضها.

1-1-2- أنواع الراتنجات :



الصورة رقم (11) راتنج طبيعي

يمكن تصنيف الراتينج الطبيعي إلى ثلاث مجموعات أساسية:

أ/- النوع الذي يسيل من النباتات بعد خدشها.

ب/ - النوع الذي يستخلص من الأخشاب باستخدام المذيبات.

ج/ - راتينج الأحافير الذي يُؤخذ من المواد المتحجرة

من بقايا النباتات والحيوانات.وهناك أصناف أخرى منها الراتينج الصمغي ،وهو مجموعةٌ من المواد النباتية يتم الحصول عليها من أوراق وقلف وجذور النباتات ،وهو عادةً سيِّء المذاق كريه الرائحة ،وقد يكون صُلْبًا أو سائلاً. والأنواع الرئيسية منه هي الصمغ النشادريُّ والحلتيت والكمبودي والمرو المحمودة.

وكلها تحتوي على الأصماغ والرّاتينج والزيت ومادة ملونة ،فالصمغ الراتينجي يتم إنتاجه بتقطير المادة الراتينجية التي يتمّ جمعها ،من الأشجار الحيّة. ويتم الحصول على خام المادة الراتينجية ،بإحداث شق طولي فيها ،فيتدفق منها الراتينج .والنوع الثاني هو الراتينج الخشبي ،الذي يُستخرج من أجدال الشجر (جذوع الشجرالمتبقي بعد القطع) باستعمال المذيبات. أما النوع الثالث فهو الراتينج الكبريتي،ويسمى أيضًا زيت الصنوبر الراتينجي ،وهو مُنْتَج ثانوي يتخلّف عن صناعة لب الخشب.

الصورة رقم (12) راتنج الصنوبر.

- **.راتينج الصنوبر:**

الذيس يتم أخذه من أصناف مختلفة من أشجار الصنوبر،و يُستخدم في الدهانات والورنيش وحبر الطباعة .والراتينج الزيتي يشمل مواد صمغية مخلوطة بالزيوت الضرورية المستخدمة في زيت التربنتينة والقطران .

- **راتينج القلفونية:**

مادةٌ تستخرج من عدة أنواع من أشجار الصنوبر،وتتراوح في لونها بين الأصفر الفاتح،والبنّي القاتم ،والأحمر الداكن. وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من هذه المادة ،ويستعمل راتينج القلفونية في العديد من الأغراض الصناعية. وأكثر ما يشيع استخدامه ،مع كربونات الصوديوم ،في تغطية الورق بمادة غروية. وتساعد هذه العملية فيمنع امتصاص الورق للرطوبة كما يستعمل راتينج القلفونية أيضًا في تحضير الدهانات ،والورنيشات ،ومواد اللصق،والمواد المانعة للتسرب،فضلاً عن أحبار الطباعة.

الصورة (13) راتنج الكهرمان[1]

- **الكهرمان** الراتينج المتحجِّر القاسي ذو اللَّون البني المُصفر،وتنشأ هذه المادة بشكل رئيسي من الصمغ الراتينجي لأشجار الصنوبر التي تنمو منذ ملايين السنين. وقد كانت هذه المواد الراتينجية مواد ممزوجة بالزيوت في الأشجار متأكسدة(متحدة مع الأكسجين)،خلفت الراتينجية القاسية. ثم دفنت تلك الأشجار الصنوبرية تحت الأرض أو تحت الماء وتحوَّلت هذه المواد الراتينجية ببطئ إلى كتل غير منتظمة من الكهرمان.وغالبا ما يحتوي الكهرمان على الحشرات التي تم حبسها أثناء تدفق المواد الراتينجية من الأشجار.

الصورة رقم (14) راتنج المر[2]

- **المُر:**صمغ راتينجي زكي الرائحة يستخرج من أشجار وشجيرات معينة. ويوجد المر في شمال شرقي إفريقيا والشرق الأوسط. ويجمع صمغه ليستخدم في البخور والعطوروالأدوية. ويثمر المر الإفريقي صمغًا راتينجيًا شبيهًا، يسمى المُقل،يستخدم في الورنيش والدواء.

الصورة رقم (15) نبتة البلسم

- **البَلْسم**: اسم يُطْلَق على عدة مواد راتينجية ذات رائحة عطرية،تُسْتَخلص من أنواع خاصة من أشجار دائمة الخضرة،وعدد آخر من النباتات .

[1] Encyclopédie universalise, 2012.
[2] Ibid .

2-اللدائن :

وتُسمّى أيضًا البلاستيك ويتكون من سلاسل طويلة من الجزيئات تُسمَّى بوليمرات .وتتكون هذه السلاسل من نماذج متكررة من جزيئات صغيرة. وتكون كل من هذه الجزيئات الصغيرة حلقة في سلسلة البوليمر. والسلاسل في بعض البلاستيك صلبة ومصفوفة كقطع من جذوع الشجر الطافية نحو أسفل النهر. وبعض أنواع البلاستيك الأخرى مرنة ومتشابكة ،وتعطي هذه التركيبات المختلفة للبلاستيك أبرز سماتها ،أي المقدرة على التشكُّل.

2-1-الراتنجات الصناعية :إحدى المجموعات الكبيرة للمركبَّات الكيميائية التي تشتمل على معظم المواد البلاستيكية التي نستخدمها ،ويمكن أن تكون في شكل ألياف أو أغشية رقيقة،أو تُصب في قوالب ذات أشكال متنوعة كثيرة،من مشط الجيب وحتى مصدّات السيارات. ويستخدم أصحاب المصانع هذه المركّبات في الدهانات والغراء ومواد تغليف الملابس والورق والمعادن.ويتكون الراتينج الصناعي ،من عدد من الجزيئات الصغيرة التي تتحد معًا لتُشَكِّل جزيئات كبيرة معقدة يسميها العلماء البوليمرات العالية.ويمكن تحديد طبيعة الراتينج الصناعي من خلال المواد الكيميائية التي يحويها وأنماط الجزيئات الجديدة. فإذا تكونت جزيئات طويلة وليفية تكون المادة صلبة ،ولكنها تُصبح طرية إذا تم تسخينها. وإذا شَكَّلت الجزيئات سلاسل طويلة ذات روابط متصلبة عديدة،فإن الراتينج يكون صلبًا

وقابلاً للكسر،وينعقد بالتسخين. وإذا تكوَّنت روابط متصلبة قليلة فإن الراتينج يكون مرِنًا. ويمتاز الراتينج المكوَّن من جزيئات ذات سلاسل قصيرة بخاصية الصمغيَّة أو الشمعيَّة.

2-2-البُوْليمر:

جُزَيء كبير طويل شبيه بالسلسلة ،يتكون بالربط الكيميائي بين كثير من الجزيئات الأصغر. والوحدات الجزيئية البنائية الأصغر تسمى **مونومرات (**أحاديات الحد) ،تتحد المونومرات في سلاسل في عملية متكررة الربط،تُعرف باسم **البلمرة** وقد تضاعف الأصل ويمكن أن يتكون البوليمر من آلاف المونومرات. وبعض البوليمرات يتكون طبيعياً ،وبعضها الآخر يتكون صناعياً.

والجُزَيء المتسلسل له طول محدد،ولكن مثله مثل قطعة خيطية ،يمكن له أن يتخذ أشكالا متنوعة. ويكسب هذا الجمع بين الطول الجزيئي والمرونة ،البوليمرات كثيراً من الخواص الفريدة والمفيدة. فالمطاط ،مثلا وكثيرة غيره من البوليمرات ،يمكن شده حتى يتضاعف طوله العادي عدة مرات دون أن ينكسر. وتستقيم السلاسل ،ببساطة إلى أشكال أكثر امتدادا وطولا. والبوليمرات ،لا تذوب بسهولة ،نتيجة لكبر حجم الجزيئات ،ولها درجة عالية من اللزوجة.

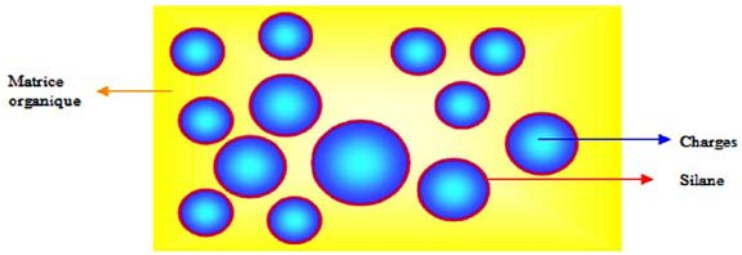
والجدول رقم(06) أهم العناصر الكيميائية التي تدخل في التركيبة الكيمائية للبوليمرات

العنصر الكـــــميائي	الـــــــــــرمـــــــز	التكافؤ	الرسم التخطيطي
الكربون	C	4	- C -
النتروجين	N	3	- N -
الاكسجين	O	2	- O -
الهدروجين	H	1	H -
الكلور	CL	1	CL-
الفلور	F	1	F-
الكبريت	S	2	-S-
السليكون	SI	4	-SI-

3-2- تعريف الراتينج الصناعي :

إحدى المجموعات الكبيرة للمركبَّات الكيميائية التي تشتمل على معظم المواد البلاستيكية التي نستخدمها،ويمكن أن تكون في شكل ألياف أو أغشية رقيقة ،أو تُصب في قوالب ذات أشكال متنوعة كثيرة ،من مشط الجيب وحتى مصدّات السيارات. ويستخدم أصحاب المصانع هذه المركّبات في الدهانات والغراء ومواد تغليف الملابس والورق والمعادن.

ويتكون الراتينج الصناعي،من عدد من الجزيئات الصغيرة التي تتحد معًا،لتُشَكِّل جزيئات كبيرة معقدة يسميها العلماء **البوليمرات العالية** ويمكن تحديد طبيعة الراتينج الصناعي من خلال المواد الكيميائية التي يحويها وأنماط الجزيئات الجديدة. فإذا تكونت جزيئات طويلة وليفية تكون المادة صلبة،ولكنها تُصبح طرية إذا تم تسخينها. وإذا شَكَّلت الجزيئات سلاسل طويلة ذات روابط متصلبة عديدة ،فإن الراتينج يكون صلبًا وقابلاً للكسر،وينعقد بالتسخين. وإذا تكوَّنت روابط متصلبة قليلة فإن الراتينج يكون مرِنًا.



الشكل (30)مخطط توضيحي لأهم مكونات الراتنج الصناعي [3]

ويمتاز الراتينج المكوَّن من جزيئات ذات سلاسل قصيرة بخاصية الصمغيَّة أو الشمعيَّة ويستخدم أصحاب المصانع الفحم الحجري والنفط وحجر الكلس والخشب والملح والهواء والماء لصناعة الراتينج الصناعي. وتخضع هذه المواد لعمليات كيميائية معقّدة لتحويلها إلى مواد كيميائية مختلفة،مثل الكحول والفورمالدهيد والجليسيرول والفينول) مطهرة) وغاز الإثيلين وغاز النشادر واليوريا. وبعد ذلك يتم خلط هذه المواد لتشكل الجزيئات المعقدة للراتينج.

[3] encyclopédie unirversalis. Ibid .2012

وتختلف أنواع الراتينج الصناعي بشكل كبير من حيث التركيب والخواص والاستعمالات . وعادة مايقوم أصحاب المصانع بتغيير الخواص الأصلية للمواد قبل عرضها للبيع في الأسواق بوصفها موادّ قابلة للاستخدام. ويتم ذلك عن طريق خلط هذه المواد بحشوات ومُلوِّنات ومواد تشحيمية وغيرها ، ومعالجتها بالحرارة.

2-4- البلاستيك:

ويُسمّى أيضًا **اللدائن** ،مواد يمكن تشكيلها في صور مختلفة. والبلاستيك من أكثر المواد المصنعة نفعًا للإنسان ،حيث تمتلئ منازلنا ومدارسنا وأماكن عملنا بمنتجات البلاستيك. ويقوم المهندسون بتطوير البلاستيك ليكون صلبًا مثل الفولاذ أو هشًّا مثل القطن. ويمكنهم القيام بصنع بلاستيك بأي لون من ألوان قوس قزح ،أو صنع بلاستيك شفاف أو دون لون مثل البلورة. كما يُمكن أن يكون البلاستيك مطاطيًا أو صلبًا،ويمكن تشكيله على وجوه مختلفة لا حصر لها،ابتداء من دعامات السيارات حتى القنينة القابلة للانضغاط،وحتى الأنسجة الهشّة. ولمنتجات البلاستيك وخصوصًا تلك التي تستعمل في الصناعة،أعمار تمتد لسنوات عديدة.

يتكون البلاستيك من سلاسل طويلة من الجزيئات تُسمَّى **بوليمرات** .وتتكون هذه السلاسل من نماذج متكررة من جزيئات صغيرة. وتكون كل من هذه الجزيئات الصغيرة حلقة في سلسلة البوليمر. والسلاسل في بعض البلاستيك صلبة ومصفوفة كقطع من جذوع الشجر الطافية نحو أسفل النهر. وبعض أنواع البلاستيك الأخرى مرنة ومتشابكة،وتعطي هذه التركيبات المختلفة للبلاستيك أبرز سماتها،أي المقدرة على التشكُّل .

2-5- أنواع البلاستيك:

تُصنف كل أنواع البلاستيك باعتبارها متصلّدات حرارية وبلاستيك حراري ويعتمد فيذلك على تغيُّرها عند التسخين. ويضم الجدول التالي عشرين نوعًا من المواد المتصلدة الحرارية والبلاستيك الحراري الشائع تبعًا للأسماء الكيميائية ،وكل نوع منها يتكون من مئات المكونات التي تتكون بإضافة مواد كيميائية إلى المادة الأساسية .

2-5-1 الأكريليك.: يقاوم الطقس والكيميائيات،وسهل التلوين ،يتمتع بشفافية عالية ويستعمل في العدسات الضوئية ،والغطاء الشفاف لركن الطيار في الطائرات ،والمعارض والإشارات ،والمصابيح الخلفية للسيارات والأقمشة والطلاء .

2-5-2 الأبوكسي. :يقاوم الماء وتقلّب الطقس ،ويتصلد بسرعة ،وله قوة ربط عالية . يستعمل في اللصق ،والعناصر المسبوكة ومواد الربط القوية اللدنة وطلاء الحماية والآلات

2-5-3- البولي تترافلورو ايثلين: يقاوم الحرارة والمواد الكيميائية وينزلق بسهولة. يستعمل في عزل الكبلات وقواعد الصمامات والحوامل،وأطواق منع التسرب وطلاء القدور الشرائح والكمدات.

2-5-4- الأليليك: تقاوم الحرارة وتقلبات الطقس ،وتستعمل في الأجزاء الإلكترونية والطلاء للحماية من الرطوبة.

2-5-5- خلات السليلوز: متين شفاف ،يستخدم في لعب الأطفال ،والحلى الشخصية والمنزلية والمقابض ،والتغليف، وأفلام التصوير الضوئي ،وأدوات حماية الآلات.

.**2-5-6- البوليستر:**قوي سريع التصلد ،يتشكل تحت ضغط منخفض. يستعمل في الزوارق،وحقائب السفر، وحمامات السباحة ،وهياكل السيارات،والمقاعد.

2-5-7-البوليورثيان: متين يقاوم المواد الكيميائية ويستعمل في العوازل الكهربائية والأجزاء الإنشائية ،والرغاوي العازلة ،وإسفنج وسادات المقاعد ويُصْنع بنوعيات مرنة.

2-5-8- متعدد الكربونات:يقاوم الحرارة،ذو متانة كبيرة في مقاومة الصدمات ،يستعمل في أجزاء آلات الحواسيب،الموصلات الكهربائية ،مُشكلات اللفات،وناشرات الضوء

والنوافذ،وعدسات النظارات الواقية والجزء الشفاف لركن الطيار.

2-5-9- النيلون:قوي ونابض،يقاوم الكشط وله خواص كهربائية جيدة. يستعمل في الأقمشة والتروس والمحامل والأجزاء الخاصة بالحاسوب وشعر الفرش والمعدات الكهربائية

2-5-10- الإسيتال:متين جاف،ويحافظ على شكله تحت الضغط ،له درجة انصهار عالية يستعمل في المبردات الكهربائية ،وأجزاء الغسالات والعجلات.

2-5-11- متعدد الإثيلين: خفيف الوزن،مرن له ملمس شمعي ،يستعمل في صناعة القوارير وفي التغليف والتعبئة والعوازل الكهربائية ،متعدد البروبيلين ،خفيف الوزن يقاوم الحرارة والمواد الكيميائية ويستعمل في الحبال والتغليف والتعبئة ،وأجزاء السيارات ،وقوارير الأطفال،وأجزاء المعدات،وصناعة السجاد .

2-5-12- متعدد الستيرين :خفيف الوزن،عديم الطعم واللون،يستعمل في المعدات المنزلية والعوازل الكهربائية وصناديق المذياع .

3- تحضير تركيبات الراتنج الطبيعي:

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة تركيبة خصائص الراتنجات الطبيعية المعدة في المخبر .

3-1- المقادير و النسب المستعملة في تحضير العينات :

3-1-1- تحضير العينة الأولى:

700 راتنج الصنوبر

280 غ (حجم الحبيبات :≤3 ≤مم) غراء العظام

تتم إضافة الماء حسب الاحتياج.

صورة (16) تحضير العينة الاولى من الراتنج

3-1-2 - تحضير العينة الثانية للراتنج:

675 غ راتنج القلفونية

129 غ غراء السمك(قطر الحبيبات≤1مم)

129 غ زيت الزيتون

تم إضافة الماء أثناء الخلط .

تم تحضير العينات بالمخبر البيداغوجي سيدي عبد الله أين تم إجراء بعض التحاليل عليها وقد تم تحضير كل عينة منها بالتالي:

_ أخذنا 03 أجزاء من كل عينة للحصول على المعدلات الكتلية .

_ سحق جزء من الراتنج ثم غربلة المسحوق في غربال 100 µ ،لتعيين الكتلة الحجمية الخصوصية .

قمنا بتحديد الخصائص الفيزيائية المتمثلة في :

رطوبة العينات ،الكتلة الحجمية الظاهرية ،الكتلة الحجمية الخصوصية ،امتصاص الماء و تعيين pH

3-1-2-تحضير العينة الثالثة:

_ 562 غ مسحوق الشب

_ 337.5 غراء العظام (حبيبات المسحوق 4≤ 3 مم)

_ 129 غ زيت الزيتون

_ يضاف الماء حسب الاحتياج مع الخلط .

العينات تم تحضيرها بمخبر معهد الآثار سيدي عبد الله أين تم إجراء بعض التحاليل عليها و قد تم تحضير كل عينة منها كالتالي:

أخذنا 3 أجزاء من كل عينة للحصول على معدلات الكتلة .نسحق جزء من الراتنج تم نغربله في غربال 100µ لتعيين الكتلة الحجمية الخصوصية .

الصورة(17) تبين حجر الشب

قمنا بتحديد الخصائص الفيزيائية المتمثلة في :

رطوبة العينات ،الكتلة الحجمية الظاهرية ،الكتلة الحجمية الخصوصية ،امتصاص الماء ،تعيين pH

2-3- الخصائص الفيزيائية للعيينات:

1-2-3- العينة الأولى للراتنج :

2-2-3 - قياس الرطوبة :

أخذنا العيينات ثم نظفناها لنزع الشوائب ،وزناها لتعيين (Mo) باستعمال ميزان الكتروني ،بعدها قمنا بوضعها في فرن التجفيف (صورة) درجة حرارته تتراوح بين 25^0 و 30^0 م للحصول على (M_1)

لقياس هذه النسبة نستعمل القانون الاتي :

$$\mathbf{H} = \frac{\boldsymbol{Mo_Mi}}{\mathbf{Mi}} \mathbf{X\ 100}\ (\%)$$

حيث H : يمثل رطوبة العيينات (%)

Mo : تمثل الكتلة الرطبة (غرام)

Mi: تمثل الكتلة الناشفة (غرام)

الصورة (18) تبين فرن التجفيف

3.2.3- الكتلة الحجمية الظاهرية :

_ نقوم بعجن العيينات ثم نزنها قبل التجفيف .

_ نزن العينة بعد تجفيفها تحت درجة حرارة 25^0 م

_ نزن العينة في الهواء بعد غطسها في الشمع

_ نزن لعينة بعد غطسها في الشمع تحت الماء .

و نتحصل على النتائج بتطبيق القانون التالي: $\mathrm{M_v} = \frac{M_S}{M_{\mathrm{S+P-}}\ M_{(s+p)1} - (M_P/D_P)}$

حيث أن : $\mathrm{M_v}$ = الكتلة الحجمية الظاهرية .

$\mathrm{M_S}$ = العتبة الجافة.

$\mathrm{M_{(s+p)1}}$ = العتبة + التسمغ تحت الماء .

M_p = وزن التصمغ .

الصورة (19) يبين عملية وزن العينات

3-2- 4- حساب درجة PHللراتنج :

نقوم أولا بمعايرة PH متر بواسطة محلول ذو درجة PH معدومة و نحضر ملعقة من مسحوق ، نغمر الجزء الحساس لدرجة PH في جهاز PH متر داخل الإناء الزجاجي الذي يحتوي على المعلق ،و نقوم بتسجيل قيمة PH عندما نثبت في قيمة معينة و هذه التجربة موضحة فى الصورة(20)

الصورة(20) تبين مقياس درجة الحموضةPH

4 . نتائج قياس الخصائص الفيزيائية لعينات الراتنج :

بالتطبيق العددي نحصل على النتائج التالية :

1.4- العينة الاولى من الراتنج :

1.1.4- قياس الرطوبة :

$H_1 = 1.14\ \%$

$H_2 = 1.15\%$

$H_3 = 1.08\%$

$H_{MOY} = 1.12\%$

الصورة (21) حمام مائي

2.1.4- نسبة امتصاص الراتنج للماء:

$AB_1 = 15.70\%$

$AB_2 = 15.02\%$

$AB_3 = 16.43\ \%$

$AB_{moy} = 15.71\%$

3.1.4- الكتلة الحجمية الظاهرية :

$M_{v1} = 1.71\ g / Cm^3$

$M_{v2} = 1.81\ g / Cm^3$

$M_{v3} = 1.88\ g / Cm^3$

$M_{vmoy} = 1.80\ g / Cm^3$

4.1.4- حساب درجة pHللراتنج :

pH = 14.85

4-2- العينة الثانية من الراتنج:

1.2.4. قياس الرطوبة.

. H_1 = %0.95

. H_2 = %0.87

. H_3 = %0.81

. H متوسط = %0.88 .

1.2.4- نسبة امتصاص الراتنج للماء:

. AB_1 = %19.72

. AB_2 = %14.75

. AB_3 = %15.12

. AB متوسط = %16.53 .

3.2.4.- الكتلة الحجمية الظاهرية:

. Mv_1 = cm^3/g2.04

. Mv_2 = cm^3/g1.88

. Mv_3 = cm^3/g1.88

. Mv متوسط = cm^3/g1.93 .

4.2.4- حساب درجة pHللراتنج:

PH=14.15

3.4- العينة الثالثة من الراتنج:

1.3.4- قياس الرطوبة.

. H_1 = %0.35

. H_2 = %0.41

. H_3 = %0.35

. H متوسط = %0.37

2.3.4- نسبة امتصاص الراتنج الماء:

. AB_1 = %14.96

. AB_2 = %14.93

. AB_3 = %14.20

. AB متوسط = %14.70

.3.3.4- الكتلة الحجمية الظاهرية:

. Mv_1 = cm^3/g1.46

. Mv_2 = cm^3/g1.88

. Mv_3 = cm^3/g2.40

. Mv متوسط = cm^3/g1.91

4.3.4- حساب درجة pHللراتنج.

pH=14.09

4.4 - العينة الثالثة من الراتنج + غراء السمك :

1.4.4- قياس الرطوبة.

بعد التطبيق العددي نجد : 0.52 %.

2.4.4- نسبة امتصاص الراتنج للماء:

بعد التطبيق العددي : AB moyenne = 14.20.

3.4.4- الكتلة الحجمية الظاهرية :

بالتنظيف العددي نحصل على : Mv **moyenne** = cm^3/g 1.67 .

4.4.4- حساب درجة pH:

. pH = 9.04

5.4- الكتلة الحجمية الخصوصية :

نقوم بحساب الكتلة الخصوصية كما يلي :

حيث :M_S: تمثل الكتلة الخصوصية (غ /سم^2)

dt_{solv}: كثافة المذيب (غ /سم^2)

V_{py}: حجم البيكنوميت(غ /سم^2)

Dt_{H2o}: كثافة الماء (غ /سم^2)

مع العلم أن كثافة الماء تساوي 1(غ/سم^2).

4-5-1- الكتلة الحجمية الخصوصية للعينة الاولى :

(غ /سم^2) $M_S = 2.57$

4-5-2- الكتلة الحجمية الخصوصية للعينة الثانية :

(غ /سم^2) $M_S = 2.66$

4-5-3- الكتلة الحجمية الخصوصية للعينة الثالثة + غراء السمك :

(غ /سم^2) $M_S = 2.92$

الصورة 22 قياس الكتلة الحجمية الخصوصية

.جدول رقم 07 : الخصائص الفيزيائية للعينات .

الخصائص / العينات	نسبة الرطوبة	نسبةامتصاص الماء %	الكتلة الحجمية الظاهريةغ/سم^2	الكتلة الحجمية الخصوصية غ/سم^2	PH
العينة الأولى	1.21	14.61	1.70	2.47	12.85
العينة الثانية	0.77	15.53	1.83	2.76	14.15
العينة الثالثة	0.37	14.40	1.91	2.43	14.09
العينة الثالثة+ غراء السمك	0.37	13.20	1.57	1.92	8.04

5- **الخصائص الميكانيكية لعينات الراتينج** :

5-1- قياس التقلص : مقاسات القوالب المستعملة 30ملم**X** 90 ملم 16 ملم النتائج المحصل عليها كما في الجدول رقم (08)

الجدول رقم (08) اهم الخصائص الفيزيائية للعينات

العينـة	الطـول (ملم)	العـرض (ملم)	الارتفاع (ملم)	مدة تعرض العينة للهواء (الساعة)	نسبة التقلص في الطول(%)
العينة الأولى	157.8	39.4	39.4	72	1.37
العينة الثانية	147.7	39.3	39.4	72	1.43
العينة الثالثة	147.7	33.2	39.3	**72**	**1.43**
العينة الثالثة +غراء العظام	148.1	39.4	39.9	67	1.18
العينة الثالثة+ غراء السمك	158.1	39.4	39.9	72	1.18

6- تحضير العينات الخاصة بالحقن :

1-6 العينة الاولى (الكازين . la caséine)

وتتكون أساسا من الكازين ،وهي عبارة عن بروتين فوسفاتي من المكونات الاساسية للبروتينات الموجودة في اللبن والجبن في صورة املاح كالسيوم .

- 1 كلغ من الجبن الابيض .
- 250 غ من الجير.
- 10 من البوراكس *
- 60 مل زيت القسط الهندي.

الصورة (23) تحضير الكازين

قمنا بتحضير هذه العينة من اجل 1 لتر من الغراء ،وضعنا 1 كلغ من الجبن الابيض في وعاء مكشوف او مغطى بالورق ليلة كاملة ،بعد الحصول على الكازيين قسمنا هذه الكمية الى اربعة اقسام ،ونفس الشيء بالنسبة للجير ،فمنا بخلط المادتين ،ثم اضفنا مادة اخرى هي البوراكس ،في الاخير اضفنا زيت القسط الهندي.

الصورة (24) زيت القسط الهندي

---

* البورق او البوراكسBorax ،هو ملح الصوديوم لحمض البوريك ،مزه الكيميائي $Na_2B_4O_7{\cdot}10H_2O$ يذوب بسهولة في الماء الدافيء. وهو من مركبات البورون المهمة .

الصورة رقم (25) عينة الفرينة

2-6- العينة الثانية: (فرينة القمح اللين)

-500 غ من فرينة القمح اللين

- 50 غ من الشكر

- الماء يضاف خلال عملية الطبخ على درجة حرارة خفيفة .

- 250 غ من الجبس .

- 100 غ من الشب .

- 20 مل ويت بذرة اليقطين (قرع العسل) .

يمكن استعمال هذه المادة كمادة للحقن حوالي 4 أيام الى 5 ،فهي 100 % طبيعية حيث تحفظ في مكان بارد داخل وعاء محكم الاغلاق ،ولتجنب تأثير الكائنات المجهرية اظفنا القليل من زيت بذرة اليقطين (قرع العسل) .

الصورة رقم (26) زيت بذرة اليقطين (قرع العسل)

الصورة رقم (27) تحضير عينة راتنج الفرينة

7- تحضير عينات الغمر والتدعيم :

7-1- العينة الأولى :

تتكون هذه العينة من :

- 200غ من الجير .
- 100غ من الشب.
- 50 ملل من زيت التلوين .
- 100 غ من الملح الطبيعي .
- 60 ملل من زيت إكليل الجبل huile de romarin

قمنا بخلط هذه العناصر في وعاء بلاستيكي شفاف ،وبعد 24 سا قمنا بعملية الغمر التي دامت 10 سا ،وللتحكم في درجة اللزوجة اظفنا زيت نبتة إكليل الجبل .

الصورة رقم (28) تحضير عينة الغمر

7-2- العينة الثانية :

تتكون هذه العينة المعدة للتدعيم من :

- 200 غ من الجبس
- خيوط نباتية . **la fillasse**

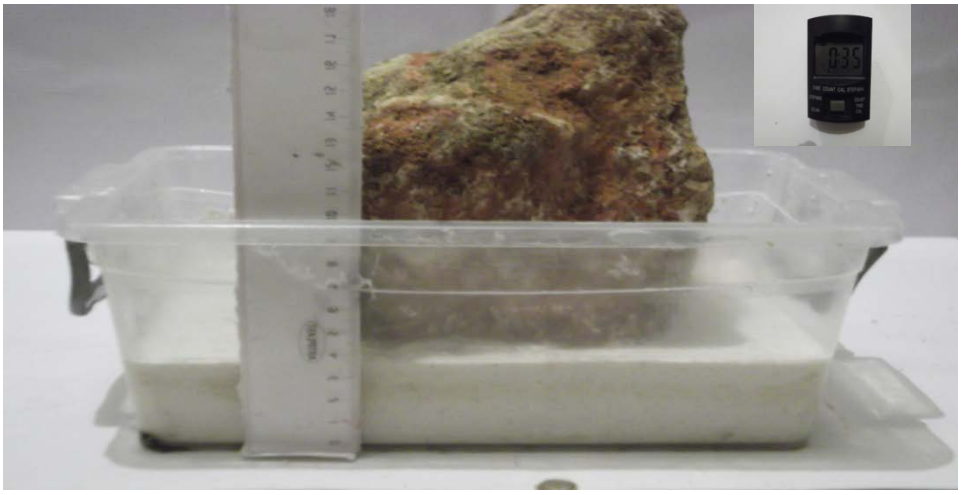
تم تحضير هذه العينة لاستعمالها في عمليات التدعيم وسد الشروخ والثقوب في الحجارة ،و لتطبيق نقوم ب:

- تنظيف الشروخ او الثقوب .
- غمر الخيوط في عجينة الجير .
- وضع العجينة في المكان المتدهور .

الصورة رقم (29) تبين العينة الخاصة بالتدعيم

3-7- قياس اللزوجة :

لمعرفة درجة لزوجة العينات قمنا بوضع هذه الأخيرة في وأوعية بلاستيكية شفافة وزودناها بمقياس عمودي يقيس مستوى تغلغل المحاليل داخل الحجارة ،هذا مع حساب الوقت الذى إستغرقه المحلول للوصول إلى أعلى الحجر والسرعة ،مع الأخذ بعين الاعتبار نوع الحجر ومساميته ،هذه العملية موضحة في الصورة رقم (29)



الصورة رقم (29) قياس اللزوجة وفق سرعة الارتفاع والتغلغل

8- تحليل النتائـج:

الهدف من هذه الدراسة هو الوصول إلى تركيبات من الراتينج ذات الخصائص الملائمة لترميم وتدعيم الحجارة والخزف ،ولهذا قمنا بتشكيل عدة تركيبات كان الراتينج الطبيعي هو الرابط الأساس فيها مع إضافة كل من المواد ،زيت الزيتون ،غراء العظام ،غراء السمك والمواد المساعدة مثل الماء .

قمنا في البداية بتحديد الخصائص الفيزيائيوميكانيكية ،ولاحظنا أن هناك تغير في حجم حبيبات مسحوق الراتينج من 3.15 µm للعينة الأولى إلى 1مم للعينة الثالثة كما أن هناك زيادة في مقاومة التمدد والضغط ،العينة الأولى كانت قيمة التقلص تساوي 1.37 % وبنسبة امتصاص 10.29 % والتي تعتبر مرتفعة نوعا ما ،هذا ما يجعل هذا النوع من الراتينج موجه للاستخدام الداخلي.

ولاحظنا أيضا أن إضافة المادة المساعدة زيت الزيتون يحسن القوة الميكانيكية ونسبة التقلص والامتصاص ،أما بالنسبة للعينة الثانية قيمة تقلص الأبعاد تقدر0.62% ونسبة امتصاص الماء تقدر ب 14.49% ،والعينة الثالثة نسبة تقلص تقدر ب0.87% .

العينة الثالثة كانت قيمة تقلص الأبعاد تقدر ب: 1.31%ونسبة امتصاص الماء تقدر ب15.10% التي تعتبر مرتفعة نوعا ما .

لاحظنا أيضا أن إضافة غراء السمك حسن من المقاومة وزاد من التماسك وسرعة الجفاف .

من هذه النتائج نجد أن التغيير في حجم الحبيبات من العينة الأولى إلى العينة الثالثة أدى إلى انخفاض الكتلة الحجمية الخصوصية من 2.43غ/سم^3 مع انخفاض أيضا في نسبة امتصاص الماء من 16.61 إلى 60.15 % هذا ما يفسر التوزيع الجيد للحبيبات الذي أدى بدوره إلى انخفاض في المسامات في بنية الراتنج .

إضافة مختلف الزيتون التى استعملت خلال جميع التجارب لعبت دورا هاما أثناء عملية الخلط ما أدى إلى الانتشار الجيد للحبيبات في البنية للراتنج مما انقص من المسامية وبالتالي نسبة الامتصاص ،كما لعبت هذه الزيوت دورا هاما في درجة اللزوجة فقد سمت لنا في التحكم في التغلغل الجيد للراتنج داخل مسام المادة الحجارة ،ومن العيوب التي لاحظناها ان الراتنجات كانت ضعيفة المناعة ضد الكائنات المجهرية التي تهاجمها خاصة الناجمة عن الرطوبة المرتفعة .

الخاتمة

الراتنجات من المواد التي استعملت منذ القدم ،لدى عديد الحضارات ،وفي مختلف المواقع الأثرية. فقد استعمالها المصريين القدامى في عمليات التحنيط ،أين يتم وضع مادة القار للحفاظ على جثث الموتى خاصة الملوك ،إيمانا منهم بحياة ما بعد الموت،كما استعملوا زلال البيض للحفاظ على الرسومات الجدارية ونظارة ألوانها،حيث توضع هذه المواد على سطح الألوان وقاية لها من الضوء وأثاره.

توصلنا من خلال تحليل نتائج الخصائص الفيزيوميكانيكية ،التي تحصلنا عليها استنتجنا أن القوة المقاومة الميكانيكية كبيرة مقارنة بالمقاومة الميكانكية للراتنجات خلال المراحل الأولى من التجربة.

كما وجدنا أيضا أن التغير في حجم الحبيبات من (3.15 µ m)في العينة الأولى إلى 1ملم في العينة الثانية، قد حسنت الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، أين نجد في العينة الأولى أن نسبة امتصاص الماء تقدر ب16.29%،وبنسبة تقلص تساوي 1.37%وفي العينة الثانية نسبة امتصاص الماء تقدر ب10.43% أمانسبة التقلص تساوي 1.43% وفي العينة الثالثة نسبة امتصاص الماء تقدر ب10.57% ونسبة تقلص تساوي 1.43%.

واستنتجنا أن الراتنجات المصنوعة من غراء العظام ،وغراء السمك وزيت الزيتون ،قد أعطت الخصائص الهيدروليكية المطلوبة للراتينج الطبيعي ،الذي يمكن استعماله في ترميم و صيانة المواد الأثرية (الخزف و الحجارة) ،وذلك لتحسن الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بعد عدة تجارب و صولا إلى الخصائص المطلوبة ،كما نجد أن أضعف تركيبة حضرت في المخبر هي تلك التركيبة التي أضيفت إليها غراء العظام.

و من خلال النتائج المتوصل إليها في مضمون هذا البحث المتواضع ،أن الراتنجات الطبيعية يمكن استعمالها في ترميم و صيانة المقتنيات الفنية و الحفاظ عليها ،من خلال استعمال الراتنجات الطبيعية مكان الرتنجات الصناعية ،خاصة عندما يتعلق الأمر بصيانة و ترميم مادة أثرية جد قديمة ،تستدعي وجود مواد للترميم مطابقة للمادة الأصلية المكونة للأثر.

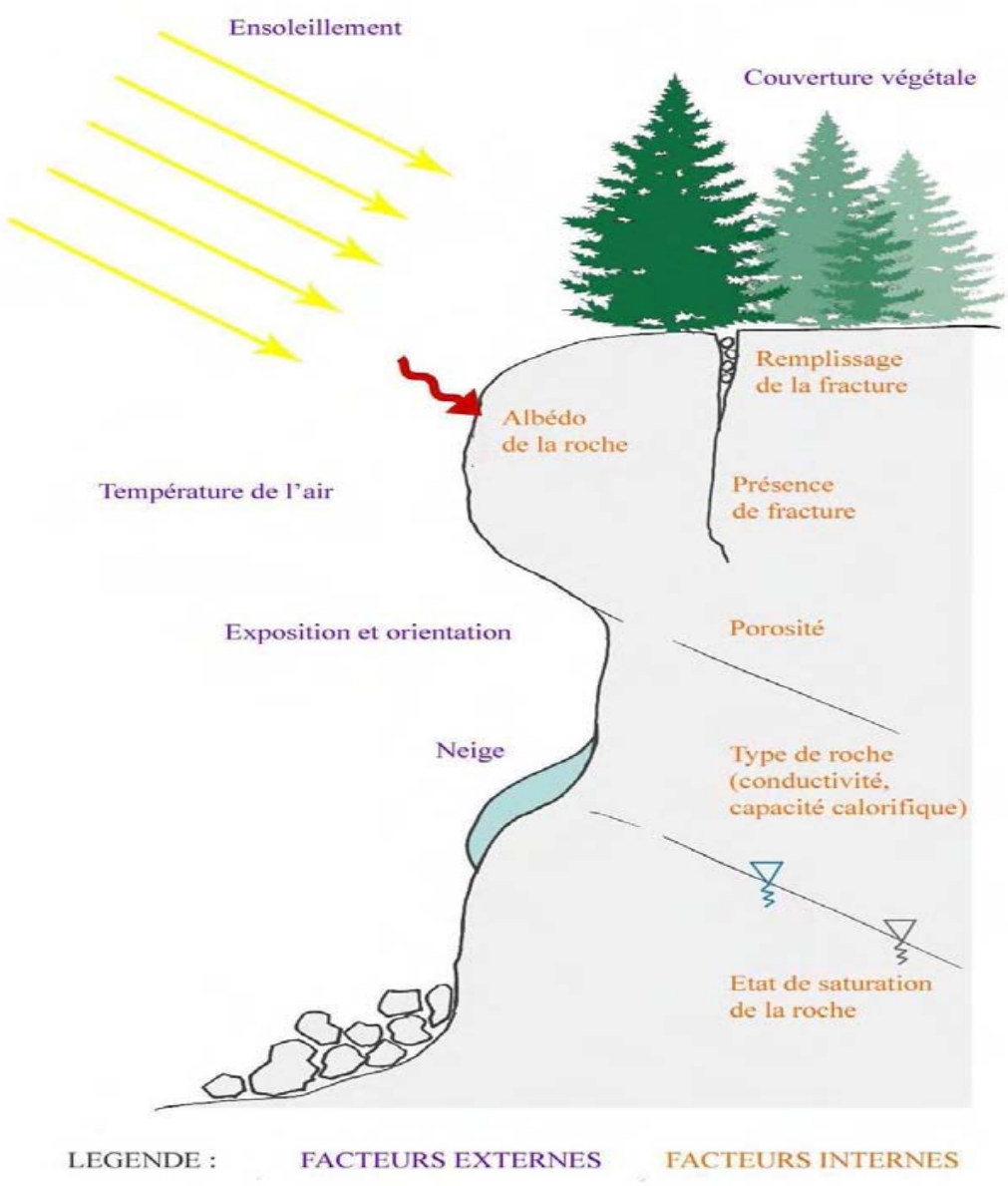
الملاحق

الصورة رقم(01) : الراتنج الطبيعي

الصورة رقم : (02) ، (03) . كيفية استخراج الراتنج من الاشجار

الصورة رقم (04): طريقة اخرى لاستخراج الراتنج الطبيعي

الصورة رقم (05): الشجر أهم مصدر للراتنج



الشكل رقم (01): دور عوامل التعرية في تقتت الصخر الام

الصورة رقم(06) : محاولة التنظيف بالماء الرطب.

الصورة رقم (08) :محاولة علاج الحجارة بالرمل الرقيق المضغوط

الصورة رقم : (09)Secs en polythyline

الصورة رقم (10):

Sacs en polyéthylène refermables (« Ziploc »)

الصورة رقم (11):
Mousse de polyéthylène « Microfoam »

الصورة رقم (12):

Planches de polyéthylène (plastique ondulé « Coroplast »)

الصورة رقم (13): **Feuille en polyéthylène**

الصورة رقم(14): **Tube en polyéthylène**

الصورة رقم (15):

Emballage-coque

-feuilles de polyéthylène avec bulles à air -les bulles se brisent facilement
-disponibles en une variété de grosseurs de bulles q se brisent facilement, bien que les petites bulles soienplus polyvalentes
- disponibles dans les compagnies de fournitures de livraison (grandes quantités), dans les entreprises

الصورة رقم (16):

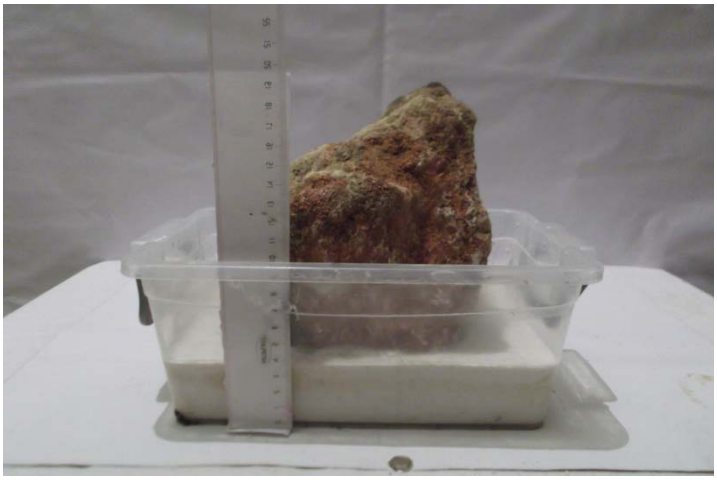
Cuve en polyéthylène

-disponibles dans plusieurs formes-à grande capacité pour l'entreposage humides
avec ou sans roues
-disponibles chez les fournisseurs de mplastiques
-de 70 $ à 500 $

*tous les prix indiqués sont de 2005

الصورة رقم (17): تحضير عينة الفرينة

الصورة رقم (18): تحضير عينة الغمر



الصورة رقم (19): قياس اللزوجة

الصورة رقم (20): **أهم الزيوت المستعملة في التجارب**

الجدول رقم 01:

Tableau des résines

Nom	Type de résine	Particularités en rapport avec les différentes techniques
Accroide rouge	Résine naturelle	Issue végétale : arbre Xanthorrhea. Sert à la fabrication de vernis à l'alcool très bon marché et de mauvaise qualité. Provient d'Australie. Fusion à 70c.
Alkyde	Résine synthétique	Très utilisée par les artistes. À pratiquement les mêmes solvants que ceux utilisés pour les huiles. L'ajout de toluène ou de xylène à cette résine diminue sa viscosité. L'utilisation des alkydes devient toxique à la longue à cause des inhalations de vapeurs.
Aloès	Résine naturelle	Issue végétale : Aloe Vulgaris. Se dissout dans l'alcool. C'est un colorant brun/jaune pour vernis. Son odeur est très désagréable. Produit toxique. Provient d'Afrique du Nord et du Sud.
Ambre, Succin, Karabé, Berstein, carabé	Résine naturelle	Issue d'arbres fossilisés. Connue depuis la haute antiquité. Résine contenant du soufre. Varie du jaune pâle jusqu'au noir, en passant par du rouge orangé. Résine la plus dure, très difficile à liquéfier sans altérer ses caractéristiques. Insoluble dans tous les solvants et huiles connus. Résine chère. Provient des rives de la mer Baltique et d'Allemagne. Fusion à 310c.
Benjoin	Résine naturelle	Issue végétale. Permet la fabrication de très beau vernis à l'alcool, très

		léger. Résine assez chère. Ele a une odeur vanillée très agréable. Provient de Siam pour la meilleure qualité. Fusion à 95c.
Cétone	Résine synthétique	Cette résine jaune transparente sert à la fabrication des vernis. Vous pouvez la dissoudre dans l'essence de térébenthine, l'acétate d'éthyle ou l'acétone. C'est le pendant des résines damar et mastic. Elle est sensible à l'humidité. Sa brillance et sa transparence s'altèrent avec le temps. Elle devient insoluble en vieillissant.
Colophane, Arcanson, Brai sec	Résine naturelle	Issue végétale : pin des maritimes. Développé au cours du XIXe siècle jusqu'à la Seconde Guerre mondiale. Aujourd'hui, elle est surtout utilisée pour les vernis à l'alcool de menuiserie et dans les encres d'imprimerie. Films secs d'aucune souplesse et friables, jaunissement exagéré et oxydation à l'eau. Évitez son emploi. Provient de France, du Portugal et de l'Espagne. Fusion à 75c.
Copal Congo	Résine naturelle	Issue de fossiles. La plus employée dans les vernis gras traditionnels au XIXe siècle et au début du XXe. Ne pas confondre avec d'autres résines copals dont la fusion est plus basse. Provient du Congo central, zones équatoriales et tropicales. Fusion à 300c.
Dammar Batavia ou résine Damar ou Damar Singapour	Résine naturelle	Issue végétale : arbre Changal. Elle est soluble dans l'alcool, l'éther et l'essence de térébenthine. Pour un vernis très transparent dissoudre dans un solvant tiède. L'ajout d'alcool produit la précipitation de résidus cireux. Mélangée à la cire améliore son pouvoir collant. Donne des films tendre et peu résistant qui ont tendance à bleuir au contact de l'humidité. La résine jaunit et devient moins soluble avec le temps. La fabrication du vernis se fait à chaud et la pose du vernis dans une

		pièce chauffée. Facile d'emploi. Provient de Nouvelle-Zélande jusqu'aux Philippines, Singapour, Batavia, Indonésie pour la meilleure qualité. À 100c, se ramollit à 60c et fond à 150c.
Elemi	Résine naturelle	Issue végétale : Canarium Communis ou canarium luzonicum. Cette résine est soluble dans l'alcool et la térébenthine. C'est une résine molle très adhérente ayant une odeur poivrée agréable. Sa consistance plastique et sa souplesse disparaissent au bout de 5 à 10 ans. Provient de Manille, Brésil. Fusion à 65c.
Gomme-Gutte	Résine naturelle	Issue végétale : Garcina Morella. La gomme-gutte est une gomme/résine. Solubilité 75% alcool et 25% eau. C'est un colorant jaune pour vernis. Résine toxique. Provient du Cambodge, Siam, Ceylan.
Gomme-laque	Résine naturelle	Issue végétale-animale : insectes Taccadia Lacca ou Laccifa Lacca transformant la sève des arbres Palas, Ber ou Ghon pour abriter leurs œufs. La gomme-laque est un vernis très utilisé en ébénisterie. Elle est la seule résine d'origine animale qui ne soit pas une gomme. Plusieurs qualités existent : blonde, button, fine, orange, brune. Vous pouvez décolorer et décirer la gomme-laque pour la rendre transparente. Provient de l'Inde, de l'Indochine, de Birmanie. Fusion à 120c.
Mastic en larmes, résine mastic	Résine naturelle	Issue végétale : pistachier lentisque (anacardiacié). Elle est soluble dans l'alcool et la térébenthine. L'addition d'alcool cause la précipitation de cire. Films brillants et souples, mais manque de dureté. Devient moins soluble avec le temps. Résine dispendieuse. Provient de la Grèce (Île Chio, meilleure qualité), Côtes méditerranéennes. À 90c, ramollit à

		90c et fond à 105c.
Polyuréthane	Résine synthétique	Apparue sur le marché après la Première Guerre mondiale. Utilisée comme vernis protecteur sur des peintures. Film dur, solide et totalement irréversible. Généralement, l'utilisation doit se faire en dedans d'une heure. Le produit est livré en deux emballages qui doivent être mélangés juste avant l'emploi. L'eau a un effet néfaste sur celle-ci.
Sandaraque en larmes	Résine naturelle	Issue végétale : conifère Thuya Articulatis, Juniperus communis. Récolté directement à l'état résine sur les plantes. Résine diterpénique, constituée, par un mélange d'acide sandaracopimarique et d'acide communique. Propriétés meilleures que la colophane. Jaunit moins que la colophane. Films très brillant qui ne fendille pas, mais qui se rayent facilement. Elle donne un vernis à l'alcool transparent. Elle est en partie dissoute à chaud dans l'huile. Rarement utilisée seule. Provient Du bassin méditerranéen, Afrique du Nord, Espagne, Italie. Fusion à 140c.
Sandragon	Résine naturelle	Issue végétale : extrait des fruits du palmier. Elle est soluble dans l'alcool. C'est un colorant rouge pour vernis. C'est une résine très dispendieuse. Provient de l'Inde, Amérique du sud, Canaries.
Vinylique et acrylique	Résine synthétique	Leur séchage est plus rapide que les produits à base d'huile, mais moins résistante que les résines naturelles. Son emploi est fréquent dans l'industrie des peintures et vernis. Facile d'emploi et prix compétitif. Ces résines peuvent être utilisées en solutions dans un solvant approprié ou en dispersions aqueuses. Les dispersions contiennent 50% d'eau. Utilisée surtout dans les techniquesà l'eau, quoiqu'aussi utilisée sous forme de vernis classiques.

الشكل رقم (02) : أهم الراتنجات الصناعية المستعملة في الحقن .

Aérosil® : silice artificielle micronisée fabriquée par la société Degussa (Hanau, Allemagne) utilisé comme charge ultrafine

Araldite® LY 554 : résine époxy fabriquée par Ciba-Geigy

Carbopol® 1342 : Carbopol (ou Carbomer) est le nom commercial de nombreuses résines acryliques utilisées dans l'industrie pharmaceutique, des cosmétiques et des matières plastiques

Chlorites : groupe de minéraux argileux proches des micas ; alumino silicates à Fe^{++}, Mg et Al

CO : gaz polluant constitué de monoxyde de carbone, se produisant lors des combustions incomplètes de produits carbonés

Dioxyde de soufre (SO_2) : gaz polluant issu de la combustion de produits soufrés (les combustibles fossiles - charbons, fioule, pétrole - en contiennent tous)

Epoxy : nom générique de résines à deux composants

EDTA : acide éthylène diamine tétraacétique, surtout utilisé sous la forme du sel disodique de l'EDTA (nom commercial cité : Komplexon III) comme agent de nettoyage notamment des vitraux

Gypse : sulfate de calcium bihydraté ($CaSO_4$, 2 H_2O). Le gypse naturel donne le plâtre (sulfate de calcium hémihydraté) par calcination. Le gypse peut aussi se former à partir des gaz polluants de l'air au détriment du calcaire des constructions : il est le principal constituant des croûtes noires d'altération.

Ital B 1 : mortier à base de ciment blanc et de chaux hydraulique (commercialisé par la société Kremer)

MTMOS : sigle utilisé fréquemment pour le méthyltriméthoxysilane

Mirabilite : appelé aussi sel de Glauber ; sulfate de sodium décahydraté (Na_2 SO_4, 10 H_2O), très dangereux lors de sa cristallisation à partir de solutions salines

Motema® 30 : oligomère de silicate d'éthyle - Fabricant : Interacryl, Frankfurt/Main

NOx : oxydes d'azote. L'air naturel contient presque 80 % de dioxyde d'azote (inerte). Les autres oxydes (NO) sont les gaz polluants issus des combustions de combustibles dans les moteurs à explosion

ORMOCER® : polymère spécifique pour la restauration des verres, à base de silicates modifiés organiquement (Ormosils) mis au point par le Fraunhofer-Institut für Silikatforschung de Würzburg

Paraloïd® B 72 : copolymère acrylique (fabricant : Rhöm & Haas) utilisé pour la consolidation et le refixage de couches superficielles

pH : potentiel hydrogène, mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une solution à partir d'une échelle de 1 à 14 (1 à 6 acide, 7 neutralité, 8 à 14 alcalin)

Plastifiant : substance susceptible d'augmenter la plasticité d'une résine (par exemple le phtalate de butyle)

PLMA : mortier à base de ciment blanc fabriqué selon une formule des restaurateurs M et Mme Mora

Polyturéthane : résine polymère obtenue par polyaddition et à deux composants (on fabrique avec des mousses, des colles, des joints...).

Polysiloxanes : produite finaux de la polycondensation des siloxanes dont la réaction aboutit à des produits de formule générique R-SiO_3

Salpêtre : sel d'altération constitué de nitre (nitrate de potassium : KNO_3). On nomme fréquemment par erreur « salpêtre » d'autres types de nitrates

Silanes : nom générique de composés constitués de silicium de formule générale R-Si $(OR')_3$ avec pour R un alkyle et pour R' CH_3 ou C_2H_5

Silicate d'éthyle : ester de l'acide silicique (-Si $(OC_2H_5)_4$ ou Si(OR)4) qui, par hydrolyse en présence d'eau (vapeur d'eau notamment) forme de la silice amorphe (gel silicique), utilisé pour la consolidation de la pierre

Siloxanes : composé de formule générique R-Si (OR')
I
O

Silicones : nom générique des polymères constitués de liaisons chimiques Si-O-Si

Syton® X 30 : silicate d'éthyle en dispersion produit par la société Merck

Sparite : forme cristalline - calcite - du carbonate de calcite ($CaCO_3$) constitué de cristaux de taille > à 10 ®m

Syngénite : sel d'altération fréquemment rencontré sur les vitraux constitués de verres alcalins : sulfate double de calcium et de potassium (K_2 Ca (SO_4), 2 H_2O)

SZA : alkoxyde de silicium et de zirconium, produit inorganique utilisé pour la consolidation des grisailles des vitraux mis au point par le Fraunhofer-Institut für Silikatforschung de Würzburg

Téflon® : marque déposée par Dupont de Nemours du polytétrafluoroérthylène, élastomère (nom générique des caoutchoucs artificiels) à base de fluor

Thénardite : sel d'altération constitué de sulfate de sodium (Na_2SO_4) : il cristallise au-dessus de 32°C à partir de la mirabilite (voir à ce nom)

Triton® X 100 : agent surfactif à base d'éther d'octylphénol-polyéthyne glycol fabriqué par Merck utilisé pour améliorer la mouillabilité.

Wacker® - W 290 S : hydrofuge à base de silicones fabriqué par Wacker-Chemie (Munich)

Wacker® - W OH : consolidant à base de silicate d'éthyle fabriqué par Wacker-Chemie (marque déposée)

Wacker® H : association d'un consolidant à base de silicate d'éthyle et d'un hydrofuge à base de silicones fabriqué par Wacker-Chemie

الجدول رقم(02) : **الخواص الفيزيائية والكميائية للجير**

الجير الحي: ***Chaux vive*** :

Nom:	**Oxyde de calcium**
Formule chimique :	**CaO**
Aspect :	**Roche, granulés, poudre. Blanc**
Odeur :	**Sans**
Point de fusion :	**2 614°C**
Point d'ébullition :	**2 850°C**
Point d'éclair :	**Non applicable**
Inflamabilité :	**Non**
Danger d'explosion :	**Non**
Propriétés d'oxydation :	**Non applicable**
Pression de vapeur :	**Non volatil**
MVA :	**0,7 à 1,2 t/m3**
Poids spécifique :	**3 350 kg/m3 (à 20°C)**
Lipo solubilité :	**Non applicable**

Coef. de partage :	**Non applicable**
Solubilité dans l'eau :	**1,4 kg/m3 à 0°C ; 1,25 kg/m3 à 20°C**
pH (à25°C)	**12,4 en solution saturée**
Stabilité	**Stable à toutes températures**
Réactivité :	**Réaction avec l'eau et les acides, avec fort dégagement de chaleur.**

Chaux hydratée :

Nom:	**Hydroxyde de calcium**
Formule chimique :	**Ca(OH)2**
Aspect :	**Poudre. Blanche**
Odeur :	**Sans**
Point de fusion :	**Décomposition à 580°C (se transforme en CaO)**
Point d'ébullition :	**2 850°C**
Point d'éclair :	**Non applicable**
Inflamabilité :	**Non**

Danger d'explosion :	**Non**
Propriétés d'oxydation :	**Non applicable**
Pression de vapeur :	**Non volatil**
MVA :	**0,2 à 0,8 t/m3**
Poids spécifique :	**2 200 kg/m3 (à 20°C)**
Lipo solubilité :	**Non applicable**
Coef. de partage :	**Non applicable**
Solubilité dans l'eau :	**1,85 kg/m3 à 0°C ; 1,65 kg/m3 à 20°C**
pH (à25°C)	**12,4 en solution saturée**
Stabilité	**L'hydroxide de calcium se déshydrate et donne de l'oxyde de calcium à 580°C**
Réactivité :	**Réaction avec l'aluminium en présence d'eau, forte réaction exothermique en présence d'acides.**

قائمة المصادر والمراجع

قائمة المصادر والمراجع باللغة العربية

1- السيد محمود البنا المدن التاريخية خطط ترميمها وصيانتها ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة 2002.

2- **المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ،صيانة التراث الحضاري تونس 1990** .

3- د احمد ابراهيم عطية . حماية وصيانة التراث الحضاري الاثري .دار الفجر للنشر والتوزيع ،القاهرة ، 2003 .

4- أد عبد اللطيف يوسف الغنيم ،**الموسوعة الجيولوجية ،ط 1 ،ج2** ،دار النشر و التوزيع ،الكويت 1998**.**

5- ابراهيم عطية –تكنولوجيا المواد وصيانة المباني الاثرية –دار الفجر للنشر والتوزيع القاهرة ،2003.

6- برخينيا باخة ديل، تعريب غنيم خالد ،علم الآثار وصيانة الأدوات والمواقع الأثرية وترميمها ، ط 1،لبنان 2002 .

7- جعفر زهير فضل ضيف الله صيانة وترميم المكتشفات الاثرية ،احدث الوسائل والتقنيات العالمية ط1

،دار قابس للنشر والتوزيع ،بيروت لبنان ،2006 .

8-

9- ثروت محمود ابراهيم حجازي ،الأسس العلمية لعلاج وصيانة المكتشفات الاثرية في الموقع الحفائر. القاهرة .

10- سلقيني محي الدين ،لعمارة البيئية ،ط1 دار قابس ، 1994 **.**

11- صليحة عمور - الصخور والجواهر ،العنصر الأساسي لتركيب كوكبنا ومصدر الهام الجيولوجيين ،مجلة اسكرام عدد 33 ،افريل 2004 .

12- عرفان سعيد المدن ،التاريخية ،سبل الحفاظ عليها وإحيائها . دار أفاق عربية 1987

13- عبد الهادي محمد ،**دراسات علمية في ترميم و صيانة الآثار الغير العضوية** ،مكتبة زهراء الشرق ،القاعرة ،1995 .

14- أد عبد اللطيف يوسف الغنيم ،**الموسوعة الجيولوجية ،ط 1 ،ج2** ،دار النشر و التوزيع ،الكويت 1998**.**

15- د. عبد الهادي محمد ،**صيانة وترميم الاثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق القاهرة .**

16- عبد المعز شاهين ،ترميم وصيانة المباني الاثرية والتاريخية مطابع المجلس الأعلى للآثار القاهرة 1994

17- عزت زكي حامد قادوس علم الآثار والحفائر وفن المتاحف ،الإسكندرية 2005 .

18- عبد المعز شاهين ،ترميم وصيانة المباني الاثرية والتاريخية ،مطابع المجلس الاعلى للآثار القاهرة 1994.

19- عبد اللهاب محمد فهمي ،دراسات نظرية وعلمية في حقل الفنون الاثرية وطرق ومواد الترميم الحديثة ،القاهرة 1985 .

20- د عبد الهادي محمد ،صيانة وترميم الاثار الغير العضوية ،مكتبة زهراء الشرق ،القاهرة ،2001.

21- - قيصرون محمد ميزار ،**الميكانيك وخواص المادة قسم الفزياء** ، جامعة البحرين1989 **.**

22- محمد فهمي عبد الوهاب . دراسات نظرية وعلمية في حقل الفنون الاثرية وطرق ومواد الترميم الحديثة ،القاهرة 1985.

23- د معاد عبد الله ،ود على غالب ،وا محمد بكر .،دليل اعداد مشروعات الترميم وصيانة الاثار ،وزارة الثقافة ،هيئة الاثار المصرية 1991 .

24- د. محمد راتب عطاس اندراوس مسعود ،مواد البناء واختيارها .ديوان المطبوعات الجامعية ،بن عكنون الجزائر ،1992 .

25- محمد عبد الهادي محمد ، مبادئ الترميم وصيانة الآثار الغير العضوية ،كلية الآثار ،القاهرة 1996 .

26- ماري بيرديكو الحفظ في علم الآثار ، ترجمة : احمد الشاعر ، ،القاهرة .2002

27- محمد ماجد عباس خلومي ،استطلاع المواقع وأبحاث التربة والأساسات ،ط5 ،دار النهضة العربية ،1991.

28- هزار عمران ،جورج دبورة ،المباني الاثرية وترميمها والحفاظ عليها ،منشورات وزارة الثقافة . 1997

29- د الموسوعة العربية العالمية 2004

قائمة المصادر والمراجع باللغة الأجنبية :

1- Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS) , la conservation préventive de la pierre .bibliothèque UNESCO, imprimeries populaire des Arts graphique, Genève . 1982

2- DJEBBAR TIAB and ERLE C. Donaldson, theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties , imprint of Elsevier, USA, 2004 .

3- ERIK FLUGEL ,microfiches of carbonate rocks pringer, institute of paleontology loewenichstrasse Germany.

4- Jeams coignet. Laurent coignet-la maison ancienne : construction .diagnostic. Intervention .3éme tirage, s. éd. ;France ,2005

5- Jean Baur, pollution environmental , University of California , los Angeles, 2000 .

6- MILTON f Thomas, the preservation of wood ,university of Minnesota collège of Natural resources. 1995.

7- Patinot jean Claude , la conservation du mobilier archéologique .rapport de synthèse.1998 .

8- P.AGTI –N. MATTERA ,mécanique appliquée résistance des matériaux et mécaniques des fluides thermodynamique ,édition DUNOD, Paris 1996 .

9- Patinot jean Claude, la conservation du mobilier archéologique, rapport de synthèse. France, 1998 .

10- PAUL PHILIPPOT, conservation des antiquités et des œuvres d'arts, édition Seyroles . Boulevarde Saint-Germain –Paris , 1966 .

11- Rodier jean l'analyse De l'eau , 9e édition , édition DUNOD , Paris 2009 .

Recherche Franco-allemande sur la conservation des pierres et du vitrail , impression damas, France, 1999

12- THérese varlamoll-marie et kremp virgine- principes de conservation .fédération international des Library et des association et des Institution (ifla) .1994

13- TORRAKA GIORGIO solubilité et solvants utilisés pour la conservation des biens culturels, 5éme édition ICCROM ,ALLIANCE OF AMERICAN INSURERES,USA , 1980 .

14- Thierry Meyer .Jos Keurentjes .handbook of polymer reaction engineering .copyright, suits federation institute of technology Switzerland

15- -Encyclopedia universalis 2012

فهرس الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
01	التركيبة الكيميائية للصخور الغرانيتية	12
02	المكونات الكيميائية لمادة الجير	33
03	صلابة المواد حسب مقياس موس	44
04	أهم محاسن ومساوئ الخزف	54
05	أهم أنواع المعادن الطينية وتركيبها	58
06	أهم العناصر الكيميائية للمركب البوليمرات	96
07	الخصائص الفيزيائية للعينات المحضرة	111
08	أهم الخصائص المكانيكية للعينات الراتنج	112

فهرس الأشكال

01	دورة الصخور في الطبيعة	08
02	تكون الصخور في باطن الارض	09
03	كيفية تشكل الصخور	12
04	أهم المواد المستعملة	17
06	بعض الادوات المستعملة في قلع الحجارة	22
07	الحجارة المصقولة	24
09	المرحلة الاولى من اعداد عجينة الجير	31
10	المرحلة الثانية من اعداد عجينة الجير	31
11	المرحلة الثالثة من اعداد عجينة الجير	32
12	قياس الثقل النوعي	42
13	المسامية في الحجر الرملي الرسوبي	43
14	المسامية في حجر الجرانيت	44
15	تأثير التحميل على الحجارة	47
16	تأثير التموضع على الحجارة	48
17	تأثير التحميل على الطبقات الراسبة	48
18	تأثير العوامل الخارجية على الحجارة والجدران	50
19	التوصيل الحراري	51
20	التحميل الحراري	51
21	تأثير الحرارة على الحجارة (ظاهرة التبخر)	51
22	العزل الحراري	52
23	إرتفاع المياه الجوفية عن طريق الخاصية الشعرية	52
24	أهم مكونات الطينة	53
25	الشكل المنتظم للسيليس	56
26	رسم تخطيطي للصفائح المكونة للطينة	57
27	البنية المجهرية لعجينة الخزف	60
28	أهم العناصر الكميائية المكونة للمادة الخزف	61
29	منحنى بياني يبين مقاومة الطينة للحرارة	62
30	تمثل العلاج الجاف بإمتصاص المحلول	78
31	مخطط توضيحي لاهم مكونات الراتنج الصناعي	97

فهرس الصور

الرقم	العنوان	الصفحة
01	حجر الاوزوريت والملاخيت	15
02	ترومالين	15
03	حجر الجرانيت	24
04	الكوارتزيت	27
06	الرخام	28
08	أهم مكونات الشجر	34
09	مادة الخشب	35
10	راديوغرام حجر التوف	49
11	الراتنج الطبيعي	91
12	راتنج الصنوبر	92
13	راتنج الكهرمان	93
14	راتنج المر	93
15	نبتة البلسم	93
16	تحضير العينة الاولى من الراتنج	101
17	حجر الشب	103
18	فرن التجفيف	103
19	توضيح عملية وزن العينات	104
20	قياس درجة الحموضة	105
21	حمام مائي	106
22	قياس الكتلة الخصوصية	111
23	تحضير الكازين	113
24	زيت القسط الهندي	113
25	عينة الفرينة	114
26	زيت بذرة اليقطين	114
27	تحضير عينة الفرينة	114
28	تحضير عينة الغمر	115
29	العينة الخاصة بالتدعيم	116
30	قياس اللزوجة وفق سرعة الارتفاع	117

الفهرس

الإهداء

كلمة الشكر

المقدمة

قائمة المصطلحات

قائمة المختصرات

الجانب النظري

الفصل الأول : عموميات حول المواد المستعملة في الآثار

1-/ مدخل إلى الصخور.....7

1-1/تكون الصخور.....7

1-2/ تعريف الصخور..... 8

1-3/ أنواع الصخور..... 9

1-3-1/ الصخور النارية..... . 9

1-3-2/ الصخور الرسوبية 10

1-3-3/ الصخور المتحولة 14

2-/ أهم المواد المستعملة في الاثار.....15

طبيعة المواد المستعملة 15

2-1/ المواد الأثرية الغير العضوية والمسامية 18

2-1-1/ الفخار 18

2-1-2/ الحجر الجيري..... 19.

3-/ مواد البناء.....20
3-1-/ الطوب 20
3-2- الحجارة 21
3-2-1/ الحجر الجيري 21
3-2-2/ الحجر الرملي 22
3-2-3/ الجرانيت 23
3-2-4/ المرمر 24
3-2-5/البازلت 24
3-2-6/ الكوارتزيت 25
3-2-7/ الرخام 26
4/ المعدن 26
5-/ مواد البناء المساعدة 26
5-1/ الملاط 27
5-2-/مونة الطين 27
5-3/ الجبس 27
5-4/ مونة الجير .....28.
5-4-1/ تحضير عجينة الجير 28
5-5/ ملاط الحوائط 30
5-6/ ملاط الطين 30

7-5/ ملاط الجبس 30
5-/ الخشب 30
1-6/ خشب البلوط 31
2-6/ خشب الزان .....31.
3-6/ خشب الأرز 31
الخلاصة 32
قائمة المصادر والمراجع
الفصل الثاني : اسباب واليات تلف الحجارة والخزف 35
I. الحجارة 36
1-/ الخواص الكيميائية والفيزيائية للحجارة 36
1-1/ الكثافة والثقل النوعي 36
2-1/ المسامية 36
1-2-1/ تعيين المسامية 37
3-1/ النفاذية والخاصية الشعرية 38
4-1/ الصلابة 39
5-1/ المواد الرابطة 39
6-1/ التركيب الطبقي للصخور والحجارة..... 40
7-1/ التمدد الحراري لمعادن الصخور 41
2-/ أهم أسباب تلف الحجارة 41
1-2/ العوامل الداخلية 42

2-2/ العوامل الخارجية..... 43
1-2-2/ التغيرات المفاجئة للدرجة الحرارة..... 43
2-2-2-/ كيفية تنقل الحرارة 44
3-2-2/ العزل الحراري 45
4-2-2/ مياه الرشح والنشع..... ..... 46.
II. الخزف.....47
1-/ تعريف الخزف.... 47
2-/ أنواع الخزف..... 47
1-2/ الخزف الصيني..... 47
2-2-/ الخزف الجيري..... 48
3-2/ ا الخزف لمزجج 48
3-/ المواد الولية المستعملة في صناعة الخزف.....48
1-3/ تعريف الطينة 48
2-3/ المعادن الطينية..... 48
3-3/ التركيبة المجهرية الخزف..... 48
1-3-3/ الخزف الأيوني 53
2-3-3/ الخزف الأيوني البسيط.....54

4-/ أسباب تلف الخزف..... 54

4-1/ عيوب التصنيع والحرق 55

4-2/ تدهور الخزف بفعل الاهمال 55

4-3/ عوامل التلف الفيزيوكيماوية 56

4-4/ عوامل التلف البيولوجي 57

الخلاصة:..... 58

قائمة المصادر والمراجع 59

الفصـــل الثـالث : صـيانـة وعلاج المـواد الأثرية(الــحجـارة والخزف)...62

I /الحجارة : 64

1-/ الطرق الميكانيكية المستعملة في علاج وصيانة الحجارة :.....65

1-1-/ التنظيف المكانيكي والكميائي واستخلاص الاملاح :..... 65

1-1-/ التنظيف المكانيكي :..... 66

1-1-2- التنظيف الكيميائي:..... 66

1-1-3/ استخلاص الأملاح :..... 67

2- أهم المواد المستعملة في تقوية الحجار.....67

2-1- عمليات التقوية..... 67

2-2-1- المقويات غير العضوية.....68

2-1-2- المقويات العضوية:.....68

3- أهم الطرق المعتمدة في تقوية الحجارة..... 70

3-1- تقوية الشبكة الداخلية (النسق)..... ..70

3-1-1- التقوية بالغمر 70

3-1-2- التقوية بواسطة خلخلة الهواء : 71

II/ علاج و صيانة الخزف: 71

1- العلاج الميكانيكي .....72.

2- العلاج الكيميائي: 73

2-1- التنظيف: 73

2-2- التقوية : 74

2-3-الحفظ الصيانة.....75

الخلاصة 78

قائمة المصادر والمراجع :.....78

الفصل الرابع :(الجانب التطبيقي)محاولة تطبيق اللدائن الطبيعية على الحجارة والخزف.

1/ أهم الراتنجات واللدائن الطبيعية 82

1-1/ تعريف الراتنج 82

1-1-1/ الصمغ 82

1-1-2/ أنواع الراتنج 83

2/ اللدائن 85

2-1/ الراتنجات الصناعية 85

2-2/ البولمر 86

2-3/ تعريف الراتنج الصناعي 87

2-4/ البلاستيك 88

2-5/ أنواع البلاستيك 89

2-5-1/ الاكرليك 89

2-5-2/ الإبوكسي 89

2-5-3/ البوليتترافلوروإثلين.....89

2-5-4/الاليليك 89

2-5-5/ خلات السليلوز 89

2-5-6/البولستير 90

2-5-7/ البوليوروثان 90

2-5-8/ متعدد الكربونات 90

2-5-9/ النيلون 90

2-5-10/ الاسيتال 90

2-5-11/ متعدد الاثلين 90

2-5-12/ متعدد السيترين 90

3/تحضير تركيبات الراتنج الطبيعي 91

3-1/ المقادير المستعملة في تحضير العينات 91

3-1-1/ تحضير العينة الأولى 91

3-1-2/ تحضير العينة الثانية 92

3-1-3 / تحضير العينة الثالثة 92

3-2/ الخصائص الفيزيائية للعينات 93

3-2-1/ العينة الأولى للراتنج:.....94

3-2-2/ قياس الرطوبة :.....94

3-2-3/ الكتلة الحجمية الظاهرية :.....95

3-2-4حساب درجة PHللراتنج :.....96

4 . نتائج قياس الخصائص الفيزيائية لعينات الراتنج :.....97

4-1 العينة الأولى من الراتنج : 97

4.1.1 قياس الرطوبة :.....97

4.1.2 نسبة امتصاص الراتنج للماء:.....97

4.1.3 الكتلة الحجمية الظاهرية :.....97

4.1.4. حساب درجة PHللراتنج :.....98

4-2/. العينة الثانية من الراتنج_.....98

4.2.1. نسبة امتصاص الراتنج للماء:.....98

4.2.3.الكتلة الحجمية الظاهرية:.....98

4.2.4. حساب درجة PHللراتنج:.....99

3-4. العينة الثالثة من الراتنج:.....99
1.3.4. قياس الرطوبة.....99
2.3.4. نسبة امتصاص الماء للراتنج:.....99
.3.3.4.الكتلة الحجمية الظاهرية:.....99
4.3.4. حساب درجة PHللراتنج.....100
4.4 . العينة الثالثة من الراتنج + غراء السمك :.....100
1.4.4. قياس الرطوبة.....100
2.4.4. نسبة امتصاص الراتنج للماء:.....100
3.4.4. الكتلة الحجمية الظاهرية :.....100
4.4.4. حساب درجة PH:.....100
5.4. الكتلة الحجمية الخصوصية :.....100
1-5-4/ الكتلة الحجمية الخصوصية للعينة الاولى.....101
2-5-4/الكتلة الحجمية الخصوصية للعينة الثانية..... :101
3-5-4/الكتلة الحجمية الخصوصية للعينة الثالثة + غراء السمك..... :101
5. الخصائص الميكانيكية لعينات الراتينج.....112
1-5/ قياس التقلص.....112
6- تحضير العينات الخاصة بالحقن.....113

1-6 العينة الاولى (الكازين . la caséine).....113

2-6- العينة الثانية: (فرينة القمح اللين).....114

7- تحضير عينات الغمر والتدعيم 115

1-7- العينة الأولى 115

2-7- العينة الثانية 116

3-7- قياس اللزوجة.....117

8- تحليل النتائج: 118

الخاتمة 119

الملاحق.....122

المراجع 140

فهرس الأشكال 146

فهرس الجداول 148

فهرس الصور.....150

الفهرس العام 152