وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة يحي فارس _المدية_
Medea university, (Algeria)
مؤلف بيداغوجي أكاديمي
Academic pedagogical author

مواد التراث وتاريخ التقنيات

Materials of heritage and technical history

تأليف:
فاهمة شابلي
C HABLI FAHIMA

ISBN: 978-9931-9892-2-6

الجزء الأول

هيئة النشر العلمي جامعه المدية
الجزائر Algeria 2023

فاهمة شابلي CHABLI FAHIMA

مواد التراث وتاريخ التقنيات Materials of heritage and technical history

ملخص
حاولنا في هذا البحث إبراز أهمية دراسة مواد التراث، ومعرفة مصادرها، وتقنيات تصنيعها ودراسة استعمالها وتاريخها، بحيث كان اهتمام الإنسان منذ القدم باستعمال مواد مختلفة في البناء، التجهيز المنزلي، وتزيين المباني والقصور.
حيث مازال مجال هذه المواد في تطور إلى يومنا هذا، وحتى القرن العشرين أين كان التطور العلمي أكثر فعالية ناتج عن الأبحاث العلمية لمختلف المواد، فعلم هندسة المواد والذي يجمع بين علم الكيمياء والفيزياء والميكانيك مكّن من فهم التداخلات التركيبية لمختلف المواد من خصائصها ومثالية مجال استعمالها.

Abstract :
In this study, we attempted to emphasize the importance of studying heritage materials, including their sources, manufacturing techniques, and use and history. Humans have been fascinated by the use of various materials in the construction, furnishing, and decoration of buildings and palaces since ancient times.
Whereas the field of these materials is still developing today, until the twentieth century, scientific development was more effective as a result of scientific research on various materials. Materials engineering, which combines chemistry, physics, and mechanics, enabled the understanding of structural interactions of various materials based on their properties and ideal field of use.

ISBN: 978-9931-9892-2-6

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة يحي فارس ـالمديةـ

مؤلف بيداغوجي أكاديمي

الجزء الأول

مواد التراث وتـاريخ التقنيات

تأليف:
د. فاهمة شابـلي

الجزائر 2022

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة يحي فارس ـالمديةـ

مؤلف بيداغوجي أكاديمي
الجزء الأول

مواد التراث وتـاريخ التقنيات

تأليف:
د. فاهمة شابـلي

الجزائر 2022

إهـــداء

إلى أمي و أبي

إلى زوجي و أبنائي الأحباء

إلى كل العائلة

إلى كل قادرعلى العطاء

د. فاهمة شابلي

المختصرات

باللغة العربية:

- ج : جزء.
- د.ت.ن : دون تاريخ نشر.
- ص : صفحة.
- ص ص : من الصفحة إلى الصفحة.
- ط : طبعة.

باللغة الفرنسية:

- Ed : Edition.
- Vol : Volume.
- N° : Numéro.
- Op.cit : Ouvrage précédent cité.
- P : Page.

مقـدمة:

يهتم هـذا البحـث بدراســة المـواد الأوليــة الطبيعيــة والطبيعــية المصنعــة، مـن حجـارة، مـلاط، طـلاء والآجـر، كمـا خصّصــناه أيضـا لدراســة عوامـل التلـف، أشـكالها ومظاهرهـا، كمـا تطرقنـا إلى طـرق الصـيانة والترميم مـن كيفيـات التنظيـف، التـدعيم، حفـظ التـوازن، التقويـة وكـذلك الحمايـة، حيـث تتعـرّض المـواد منـذ اسـتخراجها مـن المحاجر لتستعمل كمادة أولية، إلى التلف تدريجيا نتيجة تغيير الوسـط الذي كانت فيه بالإضافة إلى عدم استقرار الظروف الجوية التي تحيط بها في البيئة الجديدة، وكذلك الأماكن التي ستستعمل فيها.

ولمّا كان لخصائص وطبيعة هذه المواد أهمية قصوى في المحافظة على أصالتها، وإعادة كمالها وجمالها فإنّه من بين أكثر الأسباب تحفيزا لإبـراز أهميتهـا في صـناعة هـذه المـواد الأثريـة. فقـد كـان الاهتمـام بهـا والمحافظة عليها أولوية قصوى، غير أنّ عوامل التلف التي تصيبها تكون أحيانا أقوى وذات تأثير ظاهر.

ولتحقيق الأهداف المطلوبة من هذا البحث، فقد تم تقسيمها إلى محاور، أين تم التطرق لكل مادة من هذه المواد.

ففي المحـور الأول يـتم التعـرض للصـخور وأنواعهـا المختلفـة، مـن صـــخور بركانيـــة ومتحولـــة ورســـوبية ومكوناتهـــا وكـــذلك خواصـــها واستعمالاتها في علم الآثار، وكذلك طبيعتها وتصنيفها.

أما المحـور الثاني فيعتني بالحجـارة الرمليـة، حيث يـتم التطرق إلى تعريفها، تصنيفها وأنـواع ونسـيج هذه الحجـارة، من ثم التركيبـة الفلزيـة للحجـارة الرمليـة وبيئـات ترسـيبها وطريقـة اسـتخراجها من المحـاجر، وفي آخره نتعرض إلى خصائصها وتاريخ استعمالها ومجالات استخدامها.

المحـور الثالـث خصّصـناه لدراســة الحجـارة الكلسـية بدايـة مـن تعريفهـا وطـرق تشـكيلها، والبيئـات الرسـوبـــية، وطريقـــة استخراجهـــا والأنـواع المختلفـة وكيفيـة تشـكيلها، كمـا يتـم التطـرق إلى خصائصـها الميكانيكية الفيزيوكيميائية والمعدنية وتاريخ ومجال استخداماتها.

يـتم في المحـور الرابـع الحـديث عـن الجير والمـواد الأوليـة وطـرق تصنيع الأنواع المختلفة للجير، كما يتم الحديث أيضا في هذا المحور عن خصائص واستعمالات الجير المختلفة.

أمـا المحـور الخـامس فخصّـص لموضـوع مكونـات الملاط والطلاء وأنواعهمـا، ودراســة خواصـها المختلفـة والطريـــة والمتصـــلبة، ومحاولـة

فهـم طريقـة الحصـول على ملاط وخلـيط ذات جـودة عاليـة ومطابقـة للمــواصفات المعمـول بهـا، ومنهـا النســب المستعملــة للخلـط حسـب الباحثين في هـذا المجال، وذلك لتـوفير أحسـن الظروف لضمان تعميرها لأطول فترة ممكنة.

وفي المحـور السـادس يـتم الحـديث عـن الآجـر الأثـري، ومراحـل تصنيعه، مع التطرق إلى أنواعه وخصائصه.

فيمـا تـم تخصـيص المحـور السـابع والأخيــر، لدراســة عوامـل التلـف وكيفيــة محاربتهـا أو التقليـل منهـا، مظاهرهـا وطـرق الصـيانة والترميم للمـواد الأثرية، حيث تطرقنـا في هـذا المحـور إلى عـوامل التلـف الداخليـة، وكـذلك دراسـة عوامـل التلـف الخارجيـة، ومنهـا إلى الآثـار المترتبـة عنهـا والتي تحـدثنا عنهـا في عنصـر أشـكال ومظـاهر تلـف المـواد الأثريــة، وختمنــا المحــور، بــذكر الأســس العامــة للصــيانة والتـرميم والتــدخلات، كمــا تطرقنــا إلى طـرق الصـيانة والتـرميم مـن كيفيــات التنظيـف، التـدعيم، حفـظ التـوازن، التقويـة،التي نقـوم بهـا بغـرض حماية هذه المواد.

وختمت البحث بخاتمة لخصت فيها أهم النتائج التي توصلت إليها، من خلال هذا البحث.

د. فـاهمـة شـابلـي

03 مـاي 2022 م

المحورالأول: عموميات حول الصخور

1- تعريف الصخور؛

2- طبيعة وتصنيف الصخور؛

3- أنواع الصخور الرسوبية.

عمـوميـات حـول الصخـور

1- تعريف الصخور:

إنّ كلمـة "صخر" في اللّغـة تعني الحجـر العظيم الصـلب، بينمـا جيولوجيا بأنّه مادة أرضية تتكون من تجمع فلزي واحد كالوارتز، أو من تجمع فلزي ملتحم، متماسك ومتحجر، كالحجر الرملي أو الجيري الذي يتكـون مـن الكاليسـت، والـبعض الآخـر يتكـون مـن فلـزين أو أكثـر كالجرانيت، الذي يتكون من الكوارتز والفلسبار والبيوتيت[1].

وعلى الـرغم مـن أنّ المفهـوم الشـائع لكلمـة صخر يعني مـادة ملتحمة، ومتماسكة إلاّ أنّ الرماد البركاني المفكك يعتبر أيضا صخرا.

ومـن بـين العلـوم التي تقـيس مـن بعيـد أو قريـب علـم دراسـة الصخور (البتروغرافيا *la pétrographie*) نذكر ما يلي:

- علوم الأرض *Géologie*.

---

[1]- الغنيم، عبد اللطيف يوسف، **الموسوعة الجيولوجية**، ط1، ج3، 1998، ص 217.

- التراصفية أو الطبقات الصخورية *Stratigraphie*.
- الباليونتولوجيا *Paléontologie*.
- الجيوديناميك *Géodynamique*.
- التحولات الجيولوجية *Transformation géologique*.
- الجيوفيزيك *Géophysique*.
- التحولات التي تطرأ على الكرة الأرضية.

وبتدخل هذه العلوم يتم تسهيل دراسة الصخور، خصائصها، واستعمالاتها في المباني الأثرية والمعالم التاريخية.

2- طبيعة وتصنيف الصخور:

من خلال تعريف الصخور وجدنا أنّها تتكون من معدن أو أكثر و التي يمكن أن تكون بلورية أو غير بلورية، ويمكن أن نفرّق بين هذه الصخور عن طريق حالة مظهرها، خصائصها الفيزيائية (مقاومة ميكانيكية، حرارية، ليونة، صلابة، نفاذية للغازات ومسامية)، وكذلك

عـن طريـق التركيبـة المعدنيـة والكيميائيـة وتـأثير المـاء (***H_2O***)، حـامض الكلوريـديك (***HCl***)، تـأثير الحـرارة، وبعـض الصـخور تحتـوي على بقايـا حية تسمى (***Fossiles***) من الصخور الكلسية العضوية.

وقـد صـنّفت أنـواع الصـخور مـن حيـث النشـأة إلى صـخور ناريـة ومتحولة ورسـوبية. وهي كالآتي:

1.2- الصخور النارية:

تصـلبت أو تبلـورت مـن الصـهير "*Magma*" المـادة الأم للصـخور الناريـة التي تتكـون مـن مصـهور سـليكاتي، مـع قليـل مـن المـاء والهـواء الطيارة في درجة حرارية عالية، ذات تركيبة جد معقّدة، معادنها تكون متوازيـة، ويشـكل مجمعـات ثابتـة في شـروط جـد واضحة، والمركبـات الأساسـية الكيميائيـة لهـا هي: ***SiO_2***، ***Al_2O_3***، ***Fe_2O_3***، ***Na_2O***، ***CaO***، ***MgO***، ***FeO***. أما المكونات الثانوية هي: ***P_2O_5***، ***TiO_2***، ***ZnO***، ***Cr_2O_3***،

MnO ...الخ، ونجد غازات مختلفة مثل: ***H_2o_3، Co_2، NH_3، So_2، cl، S، F***...الخ[1].

يمكـن لهـذه الحمـم البركانيـة السـائلة أن تظهـر في ثلاثـة أمـاكن مختلفة:

- في المناطق البحرية.
- على سطح اليابسة مثل البازلت.
- في باطن الأرض مثل الجرانيت.

وذلك لتشكل صخورا صلبة، كما يمكن لهذه الصخور الاندفاعية أن تتواجد على شكل مفتت، كأن تكون بحالة سائبة مثل الرماد البركاني والخفاف، أو بحالة حطامية مثل التوف البركاني.

ومن بين مميزاتها، نذكر أنّها:

- أكثر الصخور صلابة، لذلك فهي تقاوم عوامل التعرية.

---

[1]- Lazarmi, Lorenzo, **La dégradation et la conservation de la forre,** UNESCO, N° 16, 1987, p 9-10.

- عديمـة المسـامية، فهي لا تسـمح للمـاء بالنفـاذ مـن خلالهـا إلاّ بصعوبة شديدة.
- تخلو غالبا من المستحثات .
- تحتوي على المعادن الفلزية كالذهب والفضة...إلخ.

وقد استخدمت في الآثار أنواع كثيرة منها:

أ. الغرانيت:

يتألّف عـادة من مجموعـة من المواد هي الكوارتز المتبلـور بنسـبة (20% - 40%)، والفلسبار (40% - 70%) والميكا بنسبة (05% - 20%).

وهنـاك بعـض الخصـائص الطبيعيـة والكيميائيـة التي يجـب توافرهـا جميعهـا أو على الأقـلّ بعضـها في الخامـة طبقـا للغـرض الـذي سـوف تستخدم فيه هذه الخصائص، وهي:

- البري والتآكل.
- تحمّل الضغط.

- المسامية.
- النفاذية.
- معامل الامتصاص.
- مقدرة الخامة على عدم التغير عند التعرض للجو.
- الفجوات.
- العروق.
- اللـون والشـكل، حيـث ينـتج لـون وشـكل الجرانيـت طبيعيـا بتجمـع أكاسـيد المعـادن المكونـة للصخر أو مـن الحفريـات فينـتج اللـون في خـلال أو بعـد عمليـه الترسـيب أو التكـوين الجيولـوجي للصـخور وتتّخـذ هـذه التجمعـات نظامـا معيّنـا يظهـر متناسـقا بعـد ثقـل الصخور ويعطي ألوانا جميلة .

ويتكوّن اللون أيضا من ألوان المعادن المكونة للصخر نفسه، مثل الجرانيت الذي يعطي لونا مكونا من الأحمر والأبيض والأسود وهذه هي ألوان المعادن المكونة له.

ب. البازلت:

يتألّف من الفلسبار وبعض المنيرالات الحديدية والماغنيزية (ذات تركيب كيميائي معقّد وهو في الغالب سليكات الماغنيزيوم والحديد، لونها أخضر غامق رصاصي)، وهو عموما قاتم اللون[1].

2.2- الصخور المتحولة:

ترجع نشأة أنسجة و مكونات الصخور المتحولة ليس فقط إلى وجود عدّة أنواع من التحول، ولكن أيضا لاختلاف في درجة تأثير التحول على العديد من أنواع الصخور، فهي عموما من أصل الصخور الرسوبية التي تتشكّل وفق درجة حرارية عالية، وهي وسيط بين الصخور البركانية، والصخور الرسوبية هي لا تتشكل فقط من الترسيب القديم، ولكن أحيانا عن البركان القديم من مثل الكوارتزية

[1]- هزاز عمران، جورج ديبورة، **المباني الأثرية، صيانتها وترميمها والحفاظ عليها**، 1997م، 155م.

Quartzite، أغلبهـا متبلـورة *Cristallins*، لكـن في درجـات مختلفـة، ومحتفظة بتركيبها الكيميائية مع التغير في التركيبة المعدنية[1].

ومن بين مميزاتها ما يلي:

- تمتاز بصلابتها بصفةٍ عامةٍ، فتكون أشدّ صلابةً من الصخور التي تحوّلت عنها بسبب تعرضها لعاملي الحرارة والضغط.
- ذات مسامية أحيانا بسبب خروج الغازات المتداخلة في الصخور.

ومن أمثلة ذلك نجد:

أ. الرخام:

ويتكوّن نتيجة لتبلور الصخور الكلسية والدولوميتية بدرجات حرارة وضغط عاليين، بنيته البلورية حبيبية ملتصقة ببعضها البعض.

يستخرج الرخام من الجبل في حالة الصخور الصلبة بواسطة مطارق ثاقبة يتم فيها تنفيذ ثقوب متجاورة ومتلاصقة بعضها البعض

[1]- Duriez. M, Arambide. J, **nouveau traité des matériaux de construction : Gramulats- ciments – Bitons constitution et technique générales d'emploi**, Tome1, 2ème édition, 1961, p 64.

ثم يتم فصل المسافات الرابطة بين الثقوب باستعمال الفتيل المفجر، أو تستعمل كما كان قديما الخوابير الحديدية والوصلات الكهربائية ثم عملية التسخين للحديد لتكسر الفواصل بين الثقوب.

ومن بين خصائص واستخدامات الرخام، نجد بعض الخصائص الطبيعيـة والكيميائيـة التي يجـب توافرهـا طبقـا للغـرض الـذي سـوف تسـتخدم فيـه، وتتمثـل هـذه الخصـائص في اللـون والشـكل، البـري والتآكـل، تحمـل الضـغط، المسـامية، النفاذيـة، معامـل الامتصـاص، مقدرة الخامة على عدم التغير عند التعرض للجو ، الفجوات والعروق.

وفيما يلي شرح لهذه الخصائص:

- **اللون والشكل:**

ينـتج لـون وشـكل الرخـام طبيعيـا بتجمّـع أكاسـيد المعـادن المكونـة للصخر أو من الحفريات فينتج اللون في خلال أو بعد عملية الترسيب أو التكوين الجيولـوجي للصخور. وتتّخـذ هـذه التجمعـات نظامـا معينـا يظهر متناسقا بعد ثقل الصخور ويعطي ألوانا جميلة، كما يتكوّن اللون أيضا من ألوان المعادن المكونة للصخر نفسه.

- **التآكل:**

مقاومة الرخام للتآكل من أهم العوامل التي تختار على أساسها أنواع الرخام المختلفة، لأنّها تمثل قدرة هذا النوع على البقاء والاستمرار وتجري الاختبارات لمعرفة درجه المقاومة للتآكل في معامل المواد وذلك بنسب وزن الكمية الناتجة من هذه العملية للوزن الأصلي للصخر .

- **تحمّل الضغط:**

تمثل قدره الرخام على تحمّل الضغط عنصرا هامّا من عناصر اختيار الرخام في الإنشاءات التي تتعرض لمثل هذه الضغوط وتحسب في معامل المواد بالكيلو جرام / سم2 .

- **المسامية، النفاذية، معامل الامتصاص:**

وهي التي تحدد نسبة الفراغات داخل الرخام وبمعنى آخر الفرق بين الوزن النوعي الحقيقي والوزن الظاهر لنفس الصخر. ومن المواصفات التي يجب معرفتها هي درجة النفاذية للصخر والتي يمكن أن تكون بسبب مسامية الصخور أو نتيجة لوجود شقوق بالرخام، وفي هذه الحالة الأخيرة يجب معرفة معامل الامتصاص خاصا إذا كان

الرخـام سيسـتخدم في واجهـات خارجيـة أو سـيتعرض للعوامل الجويـة ويمكن تحديد معامل الامتصاص في المعمل بعد وضع عينه الصخر في المياه لمده 10 أيام .

- **الفجوات:**

تنـتج الفجـوات عـادة في الرخـام مـن تـأثير إذابـة هـذه الصخـور بالأكاسـيد المختلفـة التي تتخلّل الرخـام، وكثره هـذه الفجـوات تقلّل من صلاحية الرخام في أغراض الزينة.

- **العروق:**

يتخلّـل بعـض الرخـام عـروق سـوداء مـن نفـس الصخر، وأعيـد تبلورها أو من مواد أخرى غريبة ويتم ذلك نتيجة لذوبان هذه الصخور .

ب. الكوارتزيت:

يتكـون الكوارتزيـت مـن ثـاني أكسـيد السـيليسـيوم المتبلـور ويكـون عـادة متماسكا بواسـطة السليكا.

3.2- الصخور الرسوبية:

وتشمل جميع الصخور التي ترسبت وتشكلت على سطح الأرض أو قريبا منه، ومعظمها ترسبت في طبقات، وتشكل جزءا صغيرا جدا من حجم الأرض[1]. وهي ناتجة من تفتت الصخور البركانية، وأحجارها ذات خصائص متعدّدة مثل: المقاومة، المسامية، الهشاشة، التبخر...الخ.

وتتشـكل الصـخور الرسـوبية بثلاثـة طـرق، تحلّـل كـل أنـواع الصخور، نقل وترسيب الترسبات وتغيرات في التركيبة والخصائص بعد الترسيب.

ومن بين الصخور الرسوبية نذكر: الصخور الرملية، الصخور الكلسية، وكذلك الصخور الكبريتية.

3- أنواع الصخور الرسوبية *Sédimentaires*:

تنقسم الصخور الرسوبية من حيث نشأتها إلى الأقسام التالية:

[1]- ج. فوستر، روبرت، **الجيولوجيا العامة**، القسم الأول، 1989، ص 132.

1.3- صخـوررسـوبية ذات نشـأة كيميائية *Les Roches d'origine chimique*:

وتشكلت بفعل عملية التبخر أو التفاعل الكيميائي، بين المحاليل التي كانت هذه المواد مذابة فيها مثل رواسب الصخور الكلسية عند بلوغ درجة التشبع، وتتشكل أيضا نتيجة ترسب المواد الفلزية من المحاليل المائية والتصاقها معا مثل الدولوميت $CaCo_3$، $MgCo_3$ وهو يشبه في خواصه الحجر الكلسي[1].

2.3- صخـوررسـوبية ذات نشـأة عضـوية *Les Roches d'origine biologique*:

وهذه الرواسب تتكون من تراكم بقايا المواد العضوية التي خلفتها الحيوانات أو النباتات التي تعيش في البحار، أو اليابس وهي على أنواع وتتمثل في:

[1]- هـزار، عمـران، جـورج، دبـورة، **المبـاني الأثريـة: ترميمهـا-صـيانتها والحفـاظ عليهـا**، دمشق، 1997، ص 157.

- **رواسب كلسية:** فتات المحار وهياكل الحيوانات البحرية والشعاب المرجانية.

- **رواسب سليسية:** أشواك الإسفنج، الدولوميت.

- **رواسب كربونية:** غابات متفحمة ونباتات منقولة.

- **رواسب حديدية:** رواسب حديد المستنقعات.

- **رواسب فوسفاتية:** طبقات من عظام الحيوانات الضخمة[1].

3.3. صخور رسوبية ذات نشأة ميكانيكية *Les Roches d'origine détritique:*

تنتج عن تفكك الصخور الاندفاعية والرسوبية نتيجة الحت الفيزيائي، وترسيبها في مكان آخر، والتصاقها بوجود مادة رابطة كالغضار، أكسيد الحديد، الكربونات، كالحجر الرملي.

ومن بين مميزاتها نذكر:

[1]- خلومي، محمد ماجد عباس، **استطلاع المواقع و أبحاث التربة والأساسات**، ط5، 1991، ص 41.

- توجد على شكل طبقات ستراتيغرافية حسب العصور التي ترسبت وتكوّنت فيها، وتسمى أحيانا بالصخور الطبقية.

- معظمها ذات مسامية عالية.

- تكثر بها الأحافير (المستحثات)، ويستدل بها العلماء على عمر الأرض، ونوع النباتات والحيوانات التي تعيش خلال العصور الزمنية اللاحقة.

المحـور الثـاني: الحجـارة الرمليـة

1- تعريف الحجارة الرملية؛

2- تصنيف الحجارة الرملية وأنواعها؛

3- نسيج الحجارة الرملية؛

4- التركيبة الفلزية للحجارة الرملية؛

5- وجود الحجارة الرملية (بيئات الترسيب)؛

6- تـــاريخ اســـتعمال الحجـــارة الرمليـــة ومجـــالات استخدامها؛

7- استخراج الحجارة الرملية؛

8- خصائص الحجارة الرملية.

الحجارة الـرمليـــة

1- تعريف الحجارة الرملية:

فأما مصطلح الحجر فهو مشتق من الأحجار الطبيعية بعد استخراجها من قشرة الأرض الخارجية. وأهمية الحجر كمادة بناء تتّضح من خلال شواهد ما قبل التاريخ، حيث أنّه من أقدم مواد البناء المعروفة استخداما، وأعلاها مقاومة مع مرور الزمن، حيث استخدمه الإنسان في التشييد والبناء والتعمير، بل إنّه قد تفنّن في هذا الميدان عبر العصور، كما أنّ الحجارة تعتبر بحق إحدى مواد البناء التي أظهرت التفوق المعماري وخاصة عند الرومان.

وهي صخور رسوبية فتاتية تنشأ من تماسك وتلاحم الرمال وحبات الرمل، والكوارتز والفلسبار[1] المترابطة بالاسمنت الغضاري أو السيليكوني أو الكلسي أو الليمونيتي (أكسيد الحديد المائي)[2]، وتتغير

[1] - Meziane, Abdallah, él**aboration d'un réfractaire sur la base d'un grésquartyeux et caractérisation,** thèse de Doctorat d'état, 2005, p. 19.

[2] -Pomerol, Charoles, **Fonet Robert, Les roches sédimentaires,** Ed. 6, 1974, p. 97.

صفاته بتغير المادة الرابطة، فعند الرابطة السيليكونية، وعلى الرغم من مساميته فإنّه يشبه الكوارتزيت في قساوته، ومقاومته للتلف، وعند الرابطة الليمونيتية يكون الحجر الرملي طريا سهل التشغيل، ويصلح للمناخ الجاف حيث يصبح قاسيا، ومقاوما للتلف الكيميائي، وعند الرابطة الكلسية يصبح معرضا لنفس ما يتعرض له الحجر الكلسي من التلف الكيميائي، أما عند الرابطة الغضارية، فيمتص الماء ويصبح هشّاً وعند التحام الرمل بفعل الكربونات أو أكسيد الحديد أو الصوان، يتكون الحجر الرملي وهو عادة أحمر أو سكري اللون، أو كستنائي[1].

2- تصنيف الحجارة الرملية و أنواعها:

الحجر الرملي صخر رسوبي، يحتوي على 50% من الكوارتز على الأقل (*Carozzi 1953*) والباقي تتمثل في مجموعة من الفلزات (فلسبار، ميكا، فتات الصخور ...)، وعن طريق رابطة من الإسمنت (طين، سيليسي، الكاربونات...)، وهذا بالتأكيد ما يتم الاعتماد عليه من

[1] -Cailleux, André, **les roches,** Ed. 7, 1974, p. 27.

خلال عمليات تصنيف الصخور الرملية، وهذا ما اعتمد عليه (*1929 Cayeux*)[1].

توجد ثلاث مجموعات رئيسية من الحجر الرملي وهي:

أ. الحجر الرملي الترابي:

يتكون من فتات مستخلص من صخور مصدرية من خارج بيئة ترسيب الرمل، وينتقل الفتات الناشئ عن عمليات التجوية (هي عملية تحلل بفعل عوامل كيميائية التي تعمل على تفكك وتحلل الصخور)، بفعل وسائل النقل كالرياح والأنهار ليترسب في العديد من بيئات الترسيب.

ب. الحجر الرملي الجيري:

يتكون من فتات كربونات الكالسيوم، على هيئة فتات صخري، وعقد أو كرات جيرية تستخلص محليا من منطقة بيئة الترسيب، ومن أمثلة ذلك الرمال الجيرية بالساحل الشمالي الغربي لمصر عن البحر

[1] -Hamel, Aïcha, **étude géologique des grés triasique du gisement pertrolien de Hassi Rmel (Algérie),** 2005, p 64.

الأبيض المتوسط، وبعض الرواسب الساحلية بالخليج. ويتكون الحجر الرملي الجيري غالب في بيئة بحرية، ويدرس ويصنف مع الحجر الجيري.

ج. **الحجر الرملي البركاني:**

يتكون من فتات متجمع من مقذوفات البراكين النشطة وهو أقل أنواع الحجر الرملي انتشارا.

وللإشارة في هذا الصدد، فإنّ تصنيف الحجر الرملي الجيري والحجر الرملي البركاني بسيط إذا ما قورن بتصنيف الحجر الرملي الترابي، فالحجر الرملي الجيري يقسم تبعا لنوع الحبيبات إلى: فتاتي جيري، عقد طينية جيرية، رملي جيري مكاني النشأة، كما يمكن تصنيف الحجر الرملي البركاني إلى مجموعات تبعا لمكوناته، من الزجاج البركاني وبلورات المعادن والفتات الصخري البركاني.

وعلى العكس من ذلك، فإنّ تصنيف وتسمية الحجر الرملي الترابي (الأرضي) عملية أكثر تعقيدا حيث أنّه الأكثر انتشارا، وتعتمد التصنيفات الحديثة للحجر الرملي على نسيج الصخر وتركيبه المعدني.

3- نسيج الحجارة الرملية:

يتألف الحجر الرملي من فتات في حجم الرمل (2-1/16مم) بغض النظر عن تركيبها الفلزي، وتحتوي على فراغات (مسامات)، تبقى فارغة أحيانا في بعض الأحجار الرملية الحديثة أو القديمة، وتملأ المساحات في الأحجار الرملية القديمة عادة بإحدى المادتين:

- ملاط لاحم ينشأ من ترسيب كيميائي لكربونات الكالسيوم أو السليكا، أو أكاسيد الحديد، أو خليط منها.
- فتات وحلي دقيق الحجم.

وينقسم الحجر الرملي تبعا للمادة المالئة للمسامات إلى مجموعين:

- حجر رملي نقي.
- حجر رملي غير نقي.

فـالحجر الرملي النقي يحتـوي على أقـل مـن 15% مـن مفتتـات وحليـة، بينمـا الحجـر الرملي غير النقي يحتـوي على أكثر من 15% من المفتتات الوحلية.

4- التركيبة الفلزية للحجارة الرملية:

يتكـون الفتـات الرملي أساسـا، مـن خلـيط الكـوارتز والفلسـبار والفتـات الصخري بنسـب متفاوتـة، ولكـن يظل فلـز الكوارتز هـو الأكثر انتشـارا في الصخور الرمليـة ويرجـع ذلـك أنـه أكثر الفلـزات ثباتـا تحـت ظروف ترسيب الصخور.

5- وجود الحجارة الرملية (بيئات الترسيب):

يشـكل الحجـر الرملي حـوالي 10% إلى 20% مـن الحجـم الكلي للصخور الرسوبية في القشرة الأرضية، وانتشار الحجر الرملي في الكتل القاريـة خاصـة في المنـاطق الجبليـة غير المسـتقرة، أكثر مـن انتشـاره بقيعان البحار والمحيطات.

وتنتشر أنـواع الحجـر الرملي في صـخور القشـرة الأرضـية أفقيـا ورأسـيا على مدار الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة بشكل غير منتظم، مما

يدل على أنّ كل نوع من أنواع الحجر الرملي الرئيسية يتكون من بيئة ترسيب خاصة، وأنّ كلا منها يصاحب أنواعا أخرى يعينها من الصخور أثناء تكوينها.

فمثلا يوجد الحجر الرملي الكوارتزي دائما مع أحجار الجير، والطفل الصفحي المتكونين في بيئة بحرية ضحلة، وتوجد هذه الصخور على الشواطئ كحواجز بحرية وكثبان ورواسب، وعمر غالبية الحجر الرملي الكوارتزي يعود إلى ما قبل الكمبري، أو حقب الحياة القديمة.

وعلى العكس من ذلك فإن الحجر الرملي غير النقي، يتكون بالسهول القاعية للمحيطات مصاحب للطُفل الصفحي المترسب في المياه العميقة، ويكون مع الطُفل والصوان ما يعرف بمجموعة رواسب "الفليش" أو رواسب البحار العميقة العكرة ويتميّز بانتشاره في المناطق غير المستقرة والنشطة على مدار الأزمنة الجيولوجية المختلفة[1].

أما الأركوز فهو قاري النشأة يتكون في مناطق وعرة التضاريس، أو بمناطق قارية جافة وحارة ويساعد ازدياد معدل الترسيب بالمناطق

[1]- الغنيم، عبد الله يوسف، المرجع السابق، ص17.

الأولى، وندرة الماء في المناطق الثـانية على الحـفاظ على الفلسـبار، وعدم تخلّلـه بالماء أثـناء الترسيب، مما يجعل حجـر الرمل المتكون ينتمي إلى صخر الأركوز.

أمـا الحجـر الرملي النقـي فإنّـه يوجـد على هيـأة رواسـب وتديـة الشـكل في المنـاطق القاريـة بعـد ارتفـاع وتكـون الكتـل الجبليـة، وأيضـا يتكون رواسب أنهار حديثة، كما يكون كثيرا من الرواسب النهرية لحقبي الحياة المتوسطة والحديثة.

6- تاريخ استعمال الحجارة الرملية و مجالات استخدامها:

إنّ اختيار المادة وإمكانية استعمالها لديها أهمية بالغة في نظريات المصـادر، ويجـب أن يكـون الاختيـار محكـم ولـيس عشـوائيا، وهـو مهـم للقيـام بـه، بينمـا هنـاك عـدة شـروط يجـب احترامهـا تتمثـل في: المقاومـة الميكانيكيـة، الكثافـة، المسـامية، الخفـة، الصـلابة، الاقتصـاد، المنـاخ، جمالية الأحجار ...الخ.

لقـد كان اسـتعمال الصخـور الرمليـة منـذ القـدم، وهي مسـتخرجة من محـاجر مختلفـة مقلمـة نسـبيا، وقـد اسـتعملت في بنايات المسـاكن، والقصـور، وأمـاكن العبـادة وحصـون مائعـة، ومـا المعـالم التاريخيـة

والأثرية إلى دليل لذلك، وعلى سبيل المثال أهرامات مصر التي بُنيت بالصخور الرملية والكلسية، وكذلك مدينة صبراتة (الليبية) التي تقع على بعد 67كلم غرب العاصمة الليبية، وهي عبارة عن أحد أجمل المدن الليبية التي تُطل على شاطئ البحر الأبيض المتوسط المبنية بالحجارة الرملية، بحيث يعود وجودها إلى الألف الأولى قبل الميلاد، تأسست على أيدي الفينيقيين، وهي تحتل مركزا مرموقا في تاريخ الحضارة الإنسانية. كما نجد أيضا الحجارة الرملية في كل البنايات القديمة منذ آلاف السنين لمختلف الحضارات سواء كانت إفريقية، أسيوية وأمريكية.

فالصخور الرملية موجودة في أنحاء العالم بتركيبات وألوان، ونسيج وقساوة مختلفة، مما أدى إلى استعمالات مختلفة كتزيين للقصور، أصوار خارجية أو داخلية، جسور، عمارات مختلفة، الأسقف (*Dollage*)، حجارة مصقولة، بناء المدافئ، تهيئة الحدائق، القبور الجنائزية ...الخ[1].

[1] -Centre d'assistance technique et de documentation (CATED), **les pierre de France**, pierre calcaire- roches- granit, gres, 1980, p. 26.

إنّ تنـوّع هـذه الصخـور يعني تنـوّع مجـال اسـتخدامها، بحيـث كان لهـا دور في تشـييد المبـاني خـلال الفتـرات القديمـة، نظـرا لخصائصـها الفيزيائية والكيميائية، حيث استخدمها الرومان في تشييد مبانيهم وهذا ما تدل عليه آثارهم ومعالمهم التاريخية، ثم أعاد استعمالها البيزنطين ثم الحضارات الأخرى.

7- استخراج الحجارة الرملية:

تستخرج الصخور الرملية من المحاجر على طريقتين:

- **طريقـة تقليديـة بدويـة:** تسـتخرج الحجـارة الرمليـة مـن المحـاجر، باستعمال طرق تقليدية ويدوية، وبأدوات بسيطة كالفأس والمنقار (*Pic, Pioche*....).

- **طريقة حديثة:** وذلك باستعمال الإمكانيات والوسائل المتطورة مثل المتفجرات (*Tire de mine*)، لتسهيل فصل الحجارة من الصخر (المحاجر)، ومن ثم تنقل بطريقة ميكانيكية[1].

[1] - Centre d'assistance technique et de documentation (CATED), Op.cit, p. 13.

وفيمـا يتعلـق بصـعوبة اسـتخراج الأحجـار الرمليـة يجـب تمييز المحـاجر، حيـث هنـاك محـاجر مفتوحـة على الهـواء أيـن تكـون الأحجـار المسـتخرجة فيـه عامـة صـلبة، ومحـاجر مغلقـة أيـن تكـون الأحجـار المستخرجة قليلة الصلابة.

8- خصائص الصخور الحجارة:

وتتمثل بعض هذه الخصائص فيما يلي:

1.8- القساوة (الصلابة):

تقـاس القسـاوة (الصـلابة) باسـتعمال سـلم "*Mohs*"، وهـو يستعمل على جميع أنواع الصخور ليس فقط على الصخور الرملية، وذلك بدءاً من الصخور اللينة إلى الصخور الصلبة وفيما يلي جدول "موحس *Mohs*" للقياس[1]:

[1] -Duriez, M. Arambite. J, Op.cit, p. 117.

القساوة	المـــــــادة
01	التاك
02	الجبس
03	الكالسيت
04	الفليوريت
05	الأباتيت
06	الأرتوكلاز
07	الكوارتز
08	التوباز
09	الكورانـدوم
10	الماس

2.8- الكتلة الحجمية:

الكتلـة الحجميـة للأحجـار مختلفـة، وهي تتبـع طبيعـة تركيبهـا المعدنية، حيث هناك نوعين من الكتلة الحجمية وهي:

$$\text{الكتلة الحجمية} = \frac{\text{كتلة المادة}}{\text{الحجم بما فيه الفراغ}} \quad [\text{غ/سم}^3]$$

$$\text{الكتلة الحجمية الخصوصية} = \frac{\text{كتلة المادة}}{\text{الحجم}} \quad [\text{غ/سم}^3]$$

ويقدر حجم الأحجار الرملية من 2000كلغ/م^3 إلى 2500كلغ/م^3، كمـا سـنذكر بعـض أنـواع الأحجـار الرمليـة التي قـام بتعيـين الكتلـة الحجمية لها في فرنسا وهي:

- الحجـر الرملي الأبـيض الـذي تتراوح كتلتـه الحجميـة مـا بـين 1970 كلغ/م^3 إلى 2020كلغ/م^3.
- الحجـر الرملي الأحمـر الـذي تتراوح كتلتـه الحجميـة مـا بـين 2060 كلغ/م^3 إلى 2120كلغ/م^3.
- الحجـر الرملي الرمـادي الـوردي تتراوح كتلتـه الحجميـة بـين 2020 كلغ/م^3 إلى 2040كلغ/م^3.

3.8- المقاومة والضغط:

يملك الحجـر الرملي مقاومة كبيرة بالنسـبة للضـغط، وزيـادة على هـذا فـإنّ مقاومتهـا لا تكـون صـالحة إلاّ إذا كانـت الجهـود تطبـق على بطنها[1]، وتبلغ مقاومية الصخور الرملية للضغط 1800كلغ/سم2[2].

4.8- المسامية (النفاذية):

يمكن تعريف المسامية على الشكل التالي:

$$\text{المسامية} = \frac{\text{حجم الفراغ}}{\text{الحجم}} \times 100$$

ويمكن للمسامات أن تكون مفتوحة أو مغلوقة ومجموعها يعطي النفاذية العامة:

- مسامية مغلقة *Porosité fermé* ونرمز لها *pf*.
- مسامية مفتوحة *Porosité ouverte* ونرمز لها *Po*.
- مسامية عامة $P_t = P_o + P_f$.

[1] -Froidveaux, (Y.M), **technique de l'architecture ancienne : conservation et restauration**, Edition 3, 1985.p.9.

[2] -Duriez. M ; Arambide. J, Op.cit, p. 100.

المحـــور الثـــالث: الحجـــارة الكلســـية (الجيريـــة) وطرق تشكيلها.

1- تعريف الحجارة الكلسية؛

2- طرق تشكيل الحجارة الكلسية؛

3- البيئـــات الرســـوبية للحجـــارة الكلســـية (أمـــاكن تواجدها)؛

4- استخراج الحجارة الكلسية؛

5- أنواع وتقسيم الأحجار الكلسية؛

6- خصائص الحجارة الكلسية؛

7- تـــاريخ اســـتعمال الحجـــارة الكلســـية ومجـــال استخداماتها.

الحجارة الكلسية (الجيرية) وطرق تشكيلها

1- تعريف الحجارة الكلسية:

وهي من الصخور الكربونية الشائعة[1]، تتشكل انطلاقا من ذوبان البيركاربونات في الماء وانخفاض غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، فيحدث تغير في توازن الحلول وذلك حسب المعادلة التالية:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca\ (HGO_3)_2$$

وتتكون من الكالسيت($Calcite$) $CaCo_3$ أحد أكثر المنيرالات انتشارا في القشرة الأرضية، ينحل قليلا في الماء ويتفاعل مع الحموض، يتلفه الماء الذي يحتوي على غاز الكربون، إذ يشكل كربونات الكالسيوم الحامضية ($Ca(HCO_3$) التي تنحل في الماء بشدة)، وهي عادة غير صافية، فتحوي على الكوارتز كما تحتوي على مستحثات، ويسمى الصخر الذي يتكون كلية من المستحثات أو حطامها كوكينا. وقد اكتشف العالم "ويلم سميث" في أواخر القرن 18 من خلال مشاهداته العديدة للصخور، أنّ لكل تشكيلة صخرية مستحثاتها المميزة، وقد

[1]- المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، صيانة التراث الحضاري، 1990، ص 220.

توصل هذا العالم إلى المبدأ التالي: "يكون لمجموعة من الطبقات عمر زمني واحد، إذا كانت تضم نفس المستحثات"[1].

ملاحظة:

قد تحتوي كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ على شوائب غضارية، ويمكن أن يتفتت بشكل ناعم، وليونة أبيض، ويستعمل في إنتاج الكلس والمواد البيضاء.

2- طرق تشكيل الحجارة الكلسية:

تتشكل الصخور الكلسية بطرق مختلفة من بينها:

- عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة، وهي تمثل المناطق الصحراوية والمناطق الساخنة حيث تترسب الصخور الكلسية على الحواف النهرية، والمياه المغلقة، مثل البحر الميت، كما يترسب أيضا من جريان المياه بقوة مثل السقوط التلقائي للمياه في الأنهار مثلا.

[1]- معطي، ميخائيل، **الستراتيغرافيا أو الجيولوجيا الطبقية**، القسم النظري، (1976،1977)، ص 16.

- تترسب فحمات الكلس في المياه الطبيعية عندما تنخفض نسبة غاز الفحم الموجودة في هذه المياه بسببٍ ما وهذا الأمر يجري حسب المعادلة التوازنية التالية:

$$Co_3 + Co_2 + H_2o \leftrightarrows (Co_3)_2\ CaH_2$$

- يترسب الكلس أيضا بعمليات حيوية، إذ أنّه يمكن لبعض الحيوانات والنباتات أن تفرز بالفعل كربونات الكلس مباشرة وأن تثبت هذا الراسب في أنسجتها الحية وفي هيكلها، أو في قوقعتها كالأشنات والمرجنيات، شوكيات الجلد، القشريات، الطحلبيات، فالأشنات تثبت بالتمثل الضوئي قسما من غاز الفحم المنحل بالماء، وعندما تكون الأشنات غزيرة للغاية فإنّه يمكنها أن تثير ترسبات أي نسب هامة من كربونات الكلس[1].

- وتساعد البكتيريا في الترسيب بجعل المياه أكثر قاعدية وتزيد المواد العضوية المتعفنة كمية CO_2 ومن ثم تأخر عملة الترسيب وأحسن مثال "شواطئ الباهاما" التي توفرت فيه كل العوامل التي ذكرت

[1]- يوسف الخوري، **موجز البتروغرافيا أو علم الصخور**، 1977، ص 217.

أعلاه فتشكلت الصخور الكلسية، وتترسب كيمياويا، بحيث تحدد CO_2 بتسخين الماء وتزيل أيضا النباتات البحرية CO_2 من مياه البحر وتساعد في الترسيب.

- ويتشكل أيضا من تراكم بقايا معادن مباشرة أو قد تتحطم ويعاد ترسبها.

3- البيئات الرسوبية للحجارة الكلسية (أماكن تواجدها):

الصخور الكلسية من أصل ترسبات محيطية أو بحرية، في أعماق البحار من حوالي 80 مليون سنة في مختلف القارات[1].

فمثلا توجد في بيئات قارية مثل بيئات الأنهار والبحيرات، وبيئات بحرية ذات أعماق مختلفة مثل: المستنقعات الشاطئية، ومناطق المد والجزر[2].

---

[1] -Stiti Abdenour, Messalit Mohamed, **usage de la chaux dans les vieux Batis » le cas de la cinquième batterie de la citadelle d'Alger** », Mémoire de fin d'études 2004, p 09.

[2] - محمد عبد الغني مشرف، **تطبيقات في الجيولوجيا العامة (معادن، صخور، أحافير، خرائط)**، ط2، 2002، ص 90.

كما تشكل الأسطح والمنحدرات التي تغطيها رواسب كلسية بعد تبخر المحاليل، والمياه التي كانت تحتويها السبخات البحرية الكلسية، ومن الأمثلة على ذلك نجد "وادي ديث *Death valley*" في الجزء الشمالي الغربي من سهول سكويت *Mesquite flat* في الولايات المتحدة الأمريكية[1].

وتختلف الفترة الزمنية التي يبقى فيها الراسب في المكان الذي ترسب فيه أولا، فتتراوح هذه الفترة من لحظات، من ملايين السنين، ولكن في الحقيقة إنّ معظم الرواسب تكون في مرحلة انتقالية، إلى أن تصل في النهاية إلى المستوى القاعي *Base level* أخفض مستوى تنقل إليه الرواسب بواسطة الجاذبية، وليكن ذلك هو قاع المحيط.

4- استخراج الحجارة الكلسية:

تستخرج الصخور الكلسية بنفس طريقة استخراج الصخور الرملية وهي على طريقتين:

[1]- حسين سيد أحمد أبو العينين، **أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض**، ط6، 1981، ص 633.

- **طريقـة تقليديـة يدويـة:** يسـتخرج الصـخور الكلسـية مـن المحـاجر باسـتعمال طرق تقليديـة ويدويـة وبـأدوات بسـيطة كالفـأس والمنقـار (*Pic, Pioche*....).

- **طريقة حديثة:** وذلك باستعمال الإمكانيات والوسائل المتطورة مثل المتفجرات (*Tire de mine*)، لتسهيل فصل الحجارة الكلسية من (المحاجر)، ومن ثم تنقل بطريقة ميكانيكية.

5- أنواع وتقسيم الأحجار الكلسية:

هنـاك عـدة محـاولات لتقسـيم الأحجـار الجيريـة مـن بينهـا محاولـة "*Folt*" التي قامت على مبادئ بيتيجون *Pettijohn* التي تنظر للحجـر الكلسـي علـى أنّـه خلـيط مـن مكونـات ثلاثيـة نقيـة وهـي الكالسـيت والـدولوميت *Dolomie* أو الـدولوميت عبـارة عـن صـخر رسـوبي كربـوني تحتـوي على 50% أو أكثر من الكربونـات أيـن الجـزء الأصـفر على شـكل *Dolonte* (*CaMg*) (*Co*$_3$)، والسيلكا.

وهنـاك تقسـيم آخـر يعتمـد علـى أنـواع النسـيج (محتـواه مـن مستحثات نوع من البلورات...الخ).

كما نجدها تقسم على الشكل التالي:

صخور كلسـية نقيـة تحتـوي في تركيبهـا على الكلـس، وصـخور كلسـية غير نقيـة يـدخل في تركيبهـا من (8%-12%) مـواد دخيلـة مثـل: المغنزيوم، الرمل، أكسيد الحديد أو على شبه من الطين.

وتصنف أيضا حسب طبـيعة مكـوناتها الثانـوية المعدنـية أو نـوع المادة اللاصقة التي تمسـك بين ذراتها، وعندما تكون مشتقة أو متكونة من مواد عضوية فإنّها قد تسمى تبعا للمادة العضوية كالمحار أو بعض الحيوانات البحرية وقد تكون قوية متماسكة أو حبيبية.

6- خصائص الحجارة الكلسية:

للصخور الكلسية خصائص متعدّدة نذكر منها:

- تكون في شكل طبقات مختلفة التركيب واللون والسمك.
- تحتـوي على مسـتحثات وخصـوصـا الأنـواع التي تتكون في البحـر أو المحيط.

- معظـم المسـامية والفجـوات قـد تكـون مملـوءة بالمـاء أو الهـواء أو الغازات وتجذب السوائل إليها بظاهرة الحلول[1].

- لا تتـأثر بغيـاب الضـوء ولا بتغيير الرطوبـة النسـبية بحكـم وجودهـا مدفونـة في بـاطن الأرض، ومـع ذلـك فـإنّ PH التربـة يمكـن أن تـؤثر على تبـدلها، أي لا تغيـر المظهـر الخـارجي للحجـارة الكلسـية لكنهـا تحدث تغيرات مهمة في بنيتها الداخلية[2].

- عند إضافة الأحماض الباردة ينتج صعود الأملاح عكس الدولوميت الذي لا تحدث فيه هذه الظاهرة (*Dégagement*) $Cacl_2 + H_2o$

$$CaCo_3 + 2Hcl^{(3)} \rightarrow + Co_2$$

- تنـتج مـن عمليـة التجويـة الميكانيكيـة (تكسـر الصخور) والتجويـة الكيمياوية (إعادة ترتيب العناصر في معادن جديدة).

---

[1]- عزت زكي حامد، قادوس، **علم الحفائر وفن المتاحف**، الإسكندرية، 2005، ص 171.

[2]- خالد غنيم، **علم الآثار وصيانة الأدوات والمو اقع الأثرية وترميمها**، ط1، 2002، ص 49.

[3] -Yatoub Boussad, Op.cit, p 125-126.

- تـأثير الصخور الكلسـية بفعـل الشـقوق والمفاصـيل والفوائـق التي سرعان ما تتسع فتحاتها.

- تحلـل و ذوبـان لقـدر كبير مـن المـواد الكسـلية مـن خـلال النشـر .....الحفري الناجم عن مياه الأمطار.

- تأثر الصخور الكلسية بالمياه الجوفية التي تعمل على إذابة أجزاء منها.

7- تاريخ استعمال الحجارة الكلسية ومجال استخداماتها:

لقـد كـان اسـتعمال الصخور منـذ القـدم وهي مسـتخرجة مـن محـاجر مختلفـة مقلمـة نسـبيا وقـد اسـتعملت في بنايـات المسـاكن، والقصور، وأماكن العبادة وحصون مائعة وما المعالم التاريخية والأثرية إلا دليـل لـذلك، وعلى سـبيل المثـال صـور الصـين العظـيم، أهرامـات مصر...الخ وكل البنايات القديمة منذ آلاف السنين لمختلف الحضارات سواء كانت إفريقية، أسيوية أو أمريكية هي من الصخور.

فالصخور موجـودة في أنحـاء العـالم بتركيبـات ونسـيج وألـوان وقسـاوة مختلفـة، ممـا أدى إلى اسـتعمالات مختلفـة كتـزيين للقصـور، أدراج، أصوار خارجية أو داخلية، تماثيل، جسور وعمارات مختلفة.

ومن بين هـذه الصخور التي اسـتعملت نجـد الصخور الكلسـية، ففي العصـر الرومـاني اسـتخدم "البطليمي ويليـه" أسـلوب "*Fresco*" حيث أنّ استخدام الجبس لم يكن مجديا في أجزاء الإمبراطورية المطيرة نظرا لذوبانه في الماء ولذا استحدث أسلوب "الفرسك" *Fresco* والذي يعتمد على حرق الحجر الكلسي- كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ في أفران عنـد درجـات حراريـة عاليـة نسـبية قـد تصـل إلى 1000°م-1200°م للحصول على أكسيد الكالسيوم أولا CaO والذي يتحول بدوره بالماء إلى هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

والذي يطبق على الجدران $(Ca(OH)_2)$ وقبل جفافه توضع مواد التلـوين بـدون مـادة رابطـة، إذ أنّـه عنـد الجفـاف يتحـول هيدروكسـيد

الكالسـيوم[1] بعـد امتصاصـه غـاز ثـاني أكسـيد الكربـون مـن الجـو إلى كربونات الكالسيوم مع ربط المادة تلقائيا و بالتالي تكون حجر كلسي.

$$2Ca(OH)_2 + 4CO_2 + 2H_2O \rightarrow 2Ca(HCO_3)_2 + 2O_2$$

Calcium bicarbonate

$$Ca(HCO_3) \rightarrow CaO_3 + CO_3 + CO_2 + H_2O$$

كما نجد الصخور الكلسية في العصر الروماني، نجدها أيضا في الحضارة المصرية، فتمثال "أبو الهول" نحت من الحجارة الكلسية[2].

أمـا في الجانـب الاقتصـادي فـيمكن اسـتخدامها لبنـاء خزانـات المياه، والبترول وصنع بيكاربونات الصوديوم، وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والطباشير...الخ.

[1]- عزت زكي حامد قادوس، المرجع السابق، ص ص 142- 175.

[2]- المرجع نفسه.

المحور الرابع: الجيــر وطــرق تصنيعــه

1- تعريف الجير؛

2- لمحة تاريخية حول الجير؛

3 -المواد الأولية وطرق تصنيع أنواع الجير؛

4- الأنواع المختلفة للجير؛

5- خصائص الجير؛

6- استعمالات الجير.

الجيــروطـرق تصنيعــه

1- تعريف الجير:

الجير من المواد الرابطة (*liants*)، التي تضمن الربط بين مكونات الملاط (*mortier*) وتؤثر على خصائصه. تشكلت عن طريق حرق الكلس أو كربونات الكالسيوم (CaO_3)، وتحمل هذه المادة في طياتها عناصر أخرى مثل أكسيد الألمنيوم، أكسيد الحديد، أكسيد السيلسيوم المغنزيوم[1].

2- لمحة تاريخية حول الجير:

يظهر استعمال مادة الجير عبر تاريخ الحضارات. حيث استعمل كمادة رابطة في البناء ومدعمة له هذا ما جعلها تعتبر مادة مهمة في تاريخ العمارة والهندسة وأدى إلى تطور صناعته بشكل ملحوظ.

استعمل الجير كطلاء للحماية والتزيين في الحضارات القديمة وهذا ما بيّنته المخلفات الأثرية التي عثر عليها خلال الحفريات. حيث

[1] - ICOMOS, **La chaux et les mortiers, natures, propriétés, traitements**, Paris, 1995, p 11.

يمكـن القـول أنّ الجير اسـتعمل منـذ آلاف السـنين (الفينيقيـين، بـلاد الرافدين، مصر...إلخ)[1].

كمـا اكتشـف في آسـيا الصـغرى منـذ آلاف السـنين نظـرا لوجـود الأدلة المادية المصنوعة من الجير.

احترفـت أمريكا مـا قبـل الكولـومبيـة صـناعة الجير واسـتعماله في الملاط، حيث يستعمل ملاط ما قبل الكولومبي كمادة لاصقة في البناء، ويتكون من الجير والرمل وفي بعض الأحيان خليط من الجص.

في نفـس الفترة تقريبـا اسـتعملت مصـر القديمـة ملاطـا ذا نوعيـة رديئة مصنوع من الجص، استعمل لملء فراغات بنايات القبور والأهرام في منطقتي" أبيـدوس" و"سـقارة" واسـتعملوا فيهـا الطلاء الجيري المائي كدهن[2].

---

[1] -Maurice, Mumenthaler, **Technologie des enduits traditionnels de façade**, Bruxelles, p 09.

[2] -Giorgio Torraca, **Matériaux de construction poreux, science des matériaux pour la conservation architecturale**, ICCROM, Rome, 1986, p 67.

اسـتعمل الإغريـق مـلاط الجير كمـادة لاصـقة في "دبلـوس". أمـا الرومـان فلقـد اسـتفادوا مـن المعـارف التي اقتبسـوها مـن الإغريـق، فضـاعفوا من اسـتعمالات الجير وأحسـنوا طرق صـناعته خاصـة أثنـاء مرحلة الطهي.

اكتشـفت أولى المواد المصنوعة من الجير البـوزولاني في منطقتين متـأثرتين بـلا شـك بالحضـارة الشـرقية واليونانيـة. ذلـك بوجـود عـدة بـراهين لبنايـات شـكل فيهـا الجير عنصـرا هامـا مـن العناصـر المكونـة للملاط.

عمّم الرومان الملاط المصنوع من الجير في البناء حيث ساعد هذا الأخير في تشـييد بنايات ضخمة. هـذا مـا جعل الملاط يصبح مـادة بنـاء بأتم معنى الكلمة. وأبرز مثال على هذه التقنيات ميناء روما "بـورتيكس إميليا".

عرفت الجزائر بدورها استعمال الجير في البنايات كمادة لاصقة. وبوصـول الرومـان (جميلـة، تيمقـاد، تيبـازة) وفترة القـرون الوسـطى، اسـتعمل الجير في الطلاء، كمـا اسـتعملت كمـادة لاصـقة في البنـاء. ومـا المباني الأثرية إلاّ دليل لاستعمال الجير مختلطا بالرمل وإضافات أخرى.

استعمل الجير كذلك في القرن 15م في صناعة رسومات جدارية مائية تجمع بين الجمالية والتقنية.

كثرت الأبحاث في ميدان صناعة الجير من القرن 17م إلى القرن 19م، وأكثر المحاور دراسة هي محوري الطهي والإطفاء، وكذلك دراسة خصائص ومقاومة مواد البناء نظرا لأهمية صلابة هذه المادة اللاصقة للبنايات.

ويبقى الجير إلى يومنا مادة لاصقة جد فعّالة وذلك بفضل خصائصه المميزة، خاصّة في مجال ترميم المواقع والآثار التاريخية.

3 -المواد الأولية وطرق تصنيع أنواع الجير:

من المحاجر حتى يوضع داخل الأكياس، يمر الكلس بعدة مراحل تسمح في نهاية المطاف بالحصول على الجير بمختلف أنواعه.

1.3- المادة الأولية:

نتحصل على الجير من الكلس الذي يستخرج من المحاجر والتي ترسبت منذ ملايين السنين. ويتوفر في معظم البلدان على شكل كلس نقي وكلس غير نقي متكون من 8 % إلى 12% من عناصر أخرى منها:

المغنزيـوم، الرمـل، أكسـيد الحديـد وحـوالي 20 % مـن الصلصـال[1] وحسب نوعية المحاجر التي استخرج منها.

تصنف الصخور الجيرية إلى صخور رسوبية ذات نشأة كيميائية، تشكلت بفعل عملية التبخر أو التفاعل الكيميائي، بين المحاليل التي كانت هذه المواد مذابة فيها مثل: رواسب الصخور الكلسية عند بلوغ درجة التشبع، وتتشكل أيضا نتيجة ترسب المواد الفلزية من المحاليل المائية والتصاقها معا مثل الدولوميت $CaCO_3.MgCO_3$ وهو يشبه في خواصه الحجر الكلسي وصخور رسوبية ذات نشأة عضوية، هذه الرواسب تتكون من تراكم بقايا المواد العضوية التي خلفتها الحيوانات أو النباتات التي تعيش في البحار أو اليابس[2]، وصخور رسوبية ذات نشأة ميكانيكية تنتج عن تفكك الصخور النارية والرسوبية نتيجة الحت الفيزيائي، وترسيبها في مكان آخر، والتصاقها بوجود مادة رابطة كالغضار، أكسيد الحديد، الكربونات...الخ.

---

[1] - Ecole D'Avignon, **techniques et pratique de la chaux,8emEd Eyrolle**, tirage Paris, 1995, p 05.

[2] - محمد ماجد عباس خلومي، **استطلاع المواقع و أبحاث التربة والأساسات**، ط5، دار النهضة العربية، 1991، ص41.

2.3-استخراج الصخور الكلسية:

يستخرج الكلس من المحاجر بطريقة تقليدية يدوية، تستخرج الحجارة الجيرية من المحاجر، باستعمال طرق تقليدية ويدوية، وبأدوات بسيطة كالفأس والمنقار وبطريقة حديثة، باستعمال الإمكانات والوسائل المتطورة مثل المتفجرات لتسهيل فصل الحجارة من الصخر(المحاجر)، ومن ثم تنقل بطريقة ميكانيكية[1].

تسحب الكتل المتحصل عليها بجرافات ميكانيكية، لتوضع في شاحنات ثم تنقل إلى ورشات التحضير أين يبدأ تحويلها.

3.3- السحق والغربلة والتعيير:

تتمثل العملية الأولى في السحق، ثم الغربلة للحصول على معيار حجر متوافق مع نوع الفرن المستعمل. "تطلب الأفران العمودية سلم معيار يتراوح ما بين 20ملم إلى 140ملم مقابل 5ملم إلى 40ملم للأفران الدوارة".

---

[2] -Centre d'assistance technique et de documentation (CATED), **Les pierres de France, pierre calcaire, roche granit, grés**, Paris, 1980, p 13.

4.3- عملية التكليس (الحرق):

يتم طهي الجير الحي في أفران حديثة ذات تكنولوجية متطورة بنفس الآلية التي يتم فيها الطهي في أفران بدائية لكن بالاختلاف في كمية وطبيعة الوقود المستعمل من صلب، سائل أو غازي وكذلك التحكم في طريقة التصنيع.

5.3- أنواع أفران الحرق (التكليس):

اعتمادا على نوع تزويد الأفران نميّز:

- **<u>الفرن العمودي أو الفرن المستقيم</u>:** عامة يتمثل في النوع القديم من الأفران، على شكل أسطوانة من فولاذ مغطى بداخله بمادة صلبة. ويتم تزويده بالكلس عن طريق جزئه العلوي، ويسمح باختيار المعيار المناسب للأحجار إضافة إلى التوزيع المتجانس للنيران.

- **<u>الفرن الحلقي</u>:** يشتغل بوقود سائل أو غازي، يعتبر هذا النوع من أكثر الأنواع اقتصادا فيما يخص الطاقة، حيث تستعمل الأفران المستقيمة القديمة وقودا صلبا(الفحم)، وتكون مردودية إنتاجهم

ضـعيفة، بينمـا تسـتعمل الأفـران المسـتقيمة الحديثـة محروقـات كالبنزين.

- **<u>الـفرن الـدوار</u>:** لديه نفس خصائص الأفران المستعملة في صناعة الإسمنت، ولصناعة الجير يقوم هذا الفرن بطهي المواد الأولية عند درجـة حـرارة تتراوح مـابين 1000°م و1300°م حسـب نـوع الجير المصنوع.

من مساوئ هذا الفرن استهلاكه الكبير للطاقة الأمر الذي جعل الصناعيين يفضلون الفرن العمودي.

6.3- الإطفـــاء:

تسمح هذه العملية بتحويل الجير الحي إلى جير مطفئ ذلك بتوفر الرطوبـة. ويتمثـل هـذا التفاعـل في طـرد الحـرارة هـذا يعني أنّ التفاعـل يرفق بإطلاق للحرارة.

يمكن القيام بعملية الإطفاء بعدّة طرق هي:

- **<u>الإطفاء العفوي</u>:** نتحصل على هذه الطريقة بتعرض الجير الحي إلى العمليـة البطيئـة والمتواصلة للهـواء، حيـث تلعـب الرطوبـة النسـبية للهواء دور مياه الإطفاء.

- **<u>السـقي (الـرش اليـدوي)</u>:** تقتصـر هـذه الطريقـة على تـوفير كميـة المياه اللازمة للإطفاء، وينتج عن هذا التفاعل طرد الحرارة [1].

- **<u>الغمـر (الغطس)</u>:** هي طريقـة تقليديـة تقتصـر على غطس الجير في الماء ثم تجفيفه وتخزينه، ثم يترك ليواصل الإطفاء.

- **<u>الاندماج</u>:** تقتصـر على وضـع الكميـة اللازمة من الماء للحصـول على عجينة سـميكة (جير على شـكل عجينة)، تقتصـر هـذه العمليـة على معرفة الكمية اللازمة من الماء.

وللتأكـد مـن الدرجـة الملائمـة للإطفـاء يكفي أن نغطـس عـودا في الحوض إذا كان الجير العـالق فيـه لـزج فالعملية تكون ناجحـة، وإذا لـم يعلق الجير، فإنّ عملية الإطفاء غير ناجحة.

---

[3] -Ghomari Fouad, **<u>science des matériaux de construction</u>**, département de génie civil, faculté des sciences de l'ingénier, université Aboubekr Belkaid, Alger, p 16.

4- الأنواع المختلفة للجير:

الجير مصـطلح عـام يجمـع بـين عـدة أنـواع مـن أشـكال فيزيائيـة وكيميائيـــة، أيـــن نجـــد أكســـيد الكالســـيوم أو أكســـيد المغنزيـــوم أو هيدروكسـيد الكالسـيوم والمغنزيـوم. نتحصـل على الجير بحـرق الكلـس الذي يتحول إلى مسحوق وذلك بالإطفاء.

ومن أنواع الجير:

1.4- الجير الهوائي:

نتحصـل عليـه بحـرق الكلـس النقي جـدا في درجـة حراريـة تقـارب 1000°م[1]، ويتمثل المكون الأساسي للجير في كربونات الكالسيوم الذي يتفـــرق ليعطـــي أكســـيد الكلســـيوم (CaO الجيـــر الحـــي)، والغـــاز الكربوني (CO_2).

$$T=1000°C$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2\uparrow$$

ويصبح الجير طافئ حسب التفاعل التالي:

[1] -M. Duriez, J. Arambid , Op.cit, p 137.

$$CaO+H2O \rightarrow Ca(OH2)+chaleur\uparrow$$

بعـد عمليـة الغربلـة، يـتم وضـعه في أكيـاس. يسـتعمل الجير في الملاط وكذا في التسـقيف.

2.4- الجير المائي الطبيعي *NHL* :

المسـمى قـديما *XHN* تتمثـل مادتـه الأساسـية في الكلـس قليـل الرمل، يطهى في درجة حرارة تقارب 1000°م. إطفاء هذه الصخور مثلها مثل الجير الهوائي أي بالماء لكي نتمكن من استعماله[1].

يسـتلزم هـذا الكلـس المنـتفخ السـحق لتحويلـه إلى مسـحوق نـاعم (يستعمل بعد ذلك كجير مطفأ في الملاط)، ويتميز الجير المائي الطبيعي بالتصلب في الهواء الطلق وتحت الماء.

3.4- الجير المائي الاصطناعي:

(إسـمنت البنـاء ويـدعى قـديما *XHA*)، هـو نـوع مـن الجير مادتـه الأساسية متمثلة في خليط مركز يزيد عن 80% من الكلس، و20% من

[2]- IANOR, NA12, **Chaux de construction : définition, spécification et critères de conformité**, Ed 1, 2006, p 04.

الصلصـال، نتحصـل عليـه في أفـران تبلـغ درجـة حـرارة طهيهـا مـا يقـارب 1450°م. ثـم يبرد هـذا الخليـط في الهـواء ويسـحق للحصـول على بـودرة ناعمة. يتميز الجير المائي الاصطناعي بتصلبه في الماء.

4.4- جير المغنيزيوم:

يمتزج في بعض أنواع الكلس المسمى دولوميتيك *dolomitiques* أي كربونـات الكلسـيوم بكربونـات المغنزيـوم، هـذا التنـوّع الـذي يمـزج صخرة الكلس يشـكل الجير المغنزيـومي والـذي يسـمح بالحصـول على الجير الهـوائي عنـد طهيـه في درجـة حـرارة أقـل مـن 900°م وفي ظـروف مناسبة.

5- خصـائص الجير:

1.5- مركبات الجير:

وهي التركيبـة التي تمـر بمراحـل تقتصـر أساسـا على التركيبـة الكيميائية والمعدنية للجير وكذا نوعيته.

أ- التركيبة الكيميائية:

يتميّز الجير كغيره من المواد بتركيبة كيميائية، تستطيع أن تزودنا بمعلومات حول نوعية وطبيعة المواد الأولية التي تحتوي عليها، إضافة إلى نوعية الجير. ويكون أكسيد الكالسيوم(CaO) أكبر أكسيد يدخل في تركيبة أنواع الجير.

ب-التركيبة المعدنية:

من الضروري معرفة التركيبة المعدنية لكل مادة من أجل التعرف عليها أكثر. ويعتبر الكالسيت أكبر معدن يدخل في تركيبة الجير.

2.5-الخصائص الفيزيائية:

أ- مؤشر البياض:

تحدد من 0 إلى 100، ويكون مؤشر الجير الأبيض جدا 100 مثله مثل الجير الهوائي، أما الجير المائي الطبيعي فيكون ملونا نوعا ما هذا التغير في اللون ناتج عن الأكاسيد الموجودة في الكلس المستعمل.

ب- المساحة الخصوصية:

أو النعومة، حيث تحدد نعومة حبيبات الجير بمساحة معينة تجسد هذه الأخيرة في المساحة الكاملة للحبيبات بالغرام على السنتمتر المربع (غ/سم^2). أما فيما يتعلق بالجير الهوائي والمائي الطبيعي فتتعلق نعومة الحبيبات بعملية الإطفاء والتخزين.

تعتبر معرفة المساحة المعينة عاملا جدّ مهم في التحكم في تفاعل الجير، فكلما زادت نعومة الحبيبات اتّسعت مساحة الملامسة وكلما زادت سرعة التفاعل أصبح الملاط أكثر نعومة.

ج- الكتلة الحجمية:

تقدر عامةً بالكيلوغرام في المتر المكعب ونقوم بتحديدها في المتر المكعب الواحد من المادة[1].

د- التقلص (*Retrait*) :

يحدد بالمقياس ***NPF*** **15 433** وهو عبارة عن نقص في الأبعاد يتعرض إليه الملاط خلال الإنشاء.

1- S.Jean Hamilius, **chaux de construction, commission permanent de normalisation des matériaux de construction, le ministre des travaux public**, Luxembourg, 1975, p 05.

3.5- الخصائص الميكانيكية:

أ- مقاومة الضغط:

هي علاقة القوة (ق) التي تطبق على الجزء المعرض لمادة ما وتقدر بـ "البار" (البار = 1كلغ(ق)/سم^2) ، محددة من 7 إلى 28 يوم.

ب- مقاومة الحرارة:

يتحمل جسم ما الحرارة إلى حد ما لم تستطع الحرارة تحطيم الجزيء الذي يشكله، أو تغير من تركيبته. فإن لم يتم تعريض الجسم لمثل هذه العملية فبإمكانه تحمل الحرارة حتى يصل إلى درجة انصهاره.

هذا ويعتبر الجير الحي مادة مقاومة للانصهار، أما الجير المائي فإنّه يفقد ماءه تحت تأثير درجات حرارة مرتفعة.

4.5- الخصائص الكيميائية:

الجير عبارة عن جسم أساسي (قاعدي) يتفاعل مع الحوامض ليشكل أملاحا. كثيرا ما نستعمل هذه القاعدة الكيميائية لإبطال مفعول الحوامض بكل أنواعها.

كما تحـدد سـرعة عمـل الجير في تفاعـل مـا، حيـث يصـل فقـدان كمية من وزنها أثناء الحرق تصل إلى 30%.

6- استعمالات الجير:

الجير مادة طبيعية عرفت منذ القدم، واليوم لها حيز كبير من الاهتمام ليس فقط في مجال البناء ولكن في العديد من المجالات الأخرى كاستخدام الجير الهوائي في صناعة الفولاذ، ومعالجة المياه، والزراعة.

أ- الجير في البناء:

استخدم الجير المائي الطبيعي منذ آلاف السنين في البناء، وخصائصه الفريدة من نوعها تجعل منه مادة رابطة مناسبة جدا في جميع مراحل البناء وتشارك في الملاط لتحضير الأساس لتركيب وبناء المباني، وضع البلاط، ترميم الجدران وإصلاح أغلفتها، بفضل خاصيته الهيدروليكية، فإنّ الجير المائي يتصلب بصفة أسرع من الجير الهوائي ويتميّز أيضا بمقاومة ميكانيكية معتبرة.

وتعتبر مادة الجير مادة سهلة جدا للاستعمال، مما يجعلها في متناول عدد كبير من المستخدمين، كذلك قدرتها على التكيف مع جميع المواد الطبيعية يجعلها مصمّمة تماما من أجل بناء دائم ومقاوم.

ب- الجير في الديكور والزخرفة:

يستخدم اليوم البناءون وأصحاب الديكور الجير في كثير من الأحيان من أجل الزخرفة الداخلية والخارجية للمباني القديمة والحديثة .

اللون الأبيض الطبيعي للجير المائي يساعد مواد البناء الأخرى من أجل إعطاء واجهة أكثر جمالية للمبنى، فإنّه يعزل ويحمي المنازل.

ج- استعمال الجير في الترميم:

ملاط الجير هو الملاط الأكثر ملائمة في أعمال الترميم، يتحول إلى شكله الصلب عندما يتعرض للهواء، بحيث يشكّل طبقة صلبة متحجرة عند التلبيس، ورابط قوي بين مواد البناء في حالة البناء، وهذا بعد أن يفقد كمية الماء المتواجدة في الخليط بفعل التبخر، وكذلك بعد تفاعل مكوناته مع الهواء الغني بثاني أكسيد الكربون.

يكون الجير المستعمل في خليط الملاط مطفئ بشكل جيّد، وكذلك باختيار الرمل المناسب، وبكميات مدروسة، بالإضافة إلى الماء الخال من الشوائب والأملاح.

المحـور الخـامس: الملاط والطلاء الجيـري

1- مكونات الملاط؛

2- أنواع الملاط؛

3- الطلاء و أنواعه.

الملاط والطلاء الجيري

يعتبر الملاط من المواد التي أعطت للإنسانية تقدما واضحا في فن العمارة، حيث أكسبتها ثباتًا قوّةً وجمالا، فالملاط يشكل جزءا كبيرا من البقايا الأثرية التي خلّفها الإنسان عبر العصور، بحيث كان ومازال مادةً إضافيةً يختلف دورها حسب الغاية المستعملة له في فن العمارة، وبذلك تنوّعت استخداماته حسب حاجياته، أو لما تفرضه بيئته.

وممّا لا شك فيه أنّ استخدام الملاط في المباني يعطي دلالة واضحة على مدى تقدّم شعب من الشعوب في شأنه وحضارته، حيث تؤدي هذه المادة دورا أساسيا في البناية وذلك بمحافظتها على المبنى وإبقاء جماله.

ولما كانت الغاية الأولى من استعمال الملاط تتلخص في تحقيق نوع من الانسجام بين عناصر البناء الأخرى (الأحجار،الآجر...) وحمايتها، فإنّ بقاء هذه المادة لأطول فترةٍ ممكنةٍ يسمح بالمحافظة على بقية المعلم، وهذا الدور يعتبر أساسيا إذا ما اعتبرنا مادة الملاط هي الخط الدفاعي الأول ضد عوامل التلف المختلفة، لذا كان لزاما أن يراعى أي تدخل على هذه المعالم التاريخية والأثرية في المحافظة على هذا الإرث

الثقافي، ويجب أن يتم هذا التدخل في ضوء عدة اعتبارات هامّة تشمل ضرورة تحديد عوامل تلفها وحصرها، وكذا دراسة الضرر التي آلت إليه، وبالتّالي تحضير مادة ملائمة تكون النتائج المنتظرة من استخدامها ناجحة. ولمّا كانت هذه المخلفات الأثرية تمسّ أمةً بكاملها وتشكّل جزءا أساسيا من فن العمارة فمن الضروري دراسة هذه المادة والتعرّف عليها واستنباط طرق العلاج والوقاية خاصةً مع التطور التكنولوجي الذي يعرفه العالم حاليا وكذا غنى علم الآثار بالعلوم المساعدة.

1- مكونات الملاط :

يتكون الملاط من رابط (الجير)، مخشنات (الرمل) زائد الماء، وأحيانا مواد مساعدة داخلة في تكوينه.

1.1- الجير:

نتحصل على الجير من الكلس الذي يستخرج من المحاجر والتي ترسبت منذ ملايين السنين. ويتوفر في معظم البلدان على الأشكال التالية: كلس نقي، كلس غير نقي متكون من 8% إلى 12% من عناصر أخرى منها: المغنزيوم، الرمل، أكسيد الحديد وحوالي 20 % من الصلصال.

2.1- المواد الداخلة في الملاط وتصنيفها :

تتمثل هذه المواد في المخشنات كالرمل حيث هناك الرمل الخشن والرمل الرقيق، والماء الذي يدخل في صناعة الملاط.

1.2.1- الرمل:

تختلف أنواعه وأحجامه ونجد: الرمل ما بين 0.1 مم إلى 6.5مم، الحصى من نوع حبات الأرز ما بين 4مم إلى 30مم، الحصى التي تتجاوز 30مم، الرمال الرسوبية المستخلصة من الحصى والمستخرجة كذلك من الوديان.

نتحصل من الرمال الرسوبية على مادة ملائمة لصناعة الملاط، وتسمح الرمال المسحوقة والمغربلة بالحصول على الطبقة الحبيبية المطلوبة وذلك انطلاقا من الحبيبات الكبيرة الحجم، حيث يجعل العجن أكثر صعوبة وأكثر بطئا وتحتوي هذه الرمال عامة على نسبة هامّة من العناصر، ونميّز مجموعتين أساسيتين وهما الرمال الرسوبية (السليسية) مصدرها تحلل الصخور الغرانتية أو الدهنية الكوارتزية وتستطيع الاحتواء على الميكا أو الفلدسبات، والرمال الكلسية مصدرها

تحلل الصخور الكلسية ويستطيع أن يتكون بعضها من بقايا المحارات وتتشكل عامة رمال المحاجر من خليط سيليكو كلسي.

أ- خصائص الرمل:

نشير إلى الأحجام المختلفة لحبيبات الرمل وتتمثل في العلاقة بين حجـم المـواد الصـلبة والحجـم الـذي يشـغله المـلاط، ونتحصـل على الاندماج الجيد باستعمال رمل يحتوي على 2/3 من الحبيبات الخشنة و1/3 مـن الحبيبـات الناعمـة. وتحـدد هـذه الحبيبـة بمعيـار فيزيـائي استنادا إلي الجير المستعمل.

يوضح هـذا الاختيـار أنّ قـدرة التحمّـل الضـعيفة للجير الهـوائي تسـتلزم اختيـار الرمل ذي حجـم حبيبـات ملائـم، يضـمن بـذلك هـيكلا متلاحما وبنية قوية وانتقالا جيّدا للهواء بين فراغات المواد المضافة وأما الجير المائي فهو يحتوي على مواد مضافة أصغر حجما.

ب- اختيار الرمل الملائم للبناء :

يجـب الأخـذ بعـين الاعتبـار نوعيـة الرمل وحجمـه للحصـول على ملاط جيّد، فينصح باسـتعمال رمل مختلـف كلّمـا اختلـف نـوع الملاط

"مـلاط الأسـاس 2/3 مـن رمـل التراب أو الوديـان، ناشـف، غير ترابي والمغربـل باليـد". وللحصـول على مـلاط نـاعم نسـتعمل 3/5 مـن الرمـل المغربـل باليـد والأكثـر نعومـة، جفافـا وصـفاء. أمـا بالنسـبة للمـلاط المستعمل مع الآجر نستعمل 2/3 من الرمل الناعم جدا.

ج- دور المواد الداخلة في تكوين الملاط :

تعطي حجما للملاط وتساعد بشكلٍ غير مباشرٍ في التخفيض من ظـاهرة الـتقلص، كمـا تسـاهم في قـدرة تحمّـل المـلاط بفضـل صـلابتها، هيكلها وتخفض هذه المواد من استعمال المادة اللاصقة كما تساهم في خلق مسامية جيدة .

2.2.1- الماء والملاط:

للماء دور فعّال للحصول على ملاط جيّد للاستعمال، ولديه ثلاثة أدوار أساسية تضمن اللدونة (مرونة)، خليط المسحوق (مادة لاصقة + رمل) حيث تساهم المياه في عملية تكوين للجير وتضمن انحلال الغاز الكربـوني. وأكثر المياه مناسـبة للقيـام بعمليـة الخلـط تتمثـل في الميـاه الصالحة للشرب، وبذلك يجب علينا تفادي الاستعمال العفوي للمياه. ومن بين المياه التي يجب تفاديها المياه غير الصافية، المياه السلفاتية،

وخاصـة ميـاه البحـار لاحتـواء هـذه الأخيرة على أمـلاح تسـاهم في تلـف وتدهور الملاط[1].

من الصعب تحديد كمية المياه اللاّزمة للحصول على الملاط، فهذا الأمر متعلق مباشـرة برطوبـة الرمل واكتنازه وحجـم حبيباتـه، فـإذا كان تعيير المـاء أمـر سـهل للغايـة فمـن المهـم إيجـاد معـدل الميـاه المناسـب لتحضير الملاط. حيث إذا كانت كمية المياه قليلة فهذا يستطيع أن يؤدي إلى صـعوبة وضـع الملاط ويسـبّب نقصـا في إيجـاد معـدل الميـاه المناسـب لتحضـير الملاط، أمـا إذا زادت كميـة الميـاه عـن الـلازم فهـذا يـؤدي إلى تقلص كبير عندما يتم التبخر.

3.2.1- المواد المساعدة الداخلة في تركيب الملاط، وتصنيفها:

هي مواد تضاف بكمية قليلة للملاط لتحسّن من بعض مميزاته، من بينها:

أ- البوزولان الطبيعي:

[1]- المؤسسـة العامـة للتعليم الفني والتـدريب المهني،**خـواص واختبـارات المـواد**، المملكـة العربية السعودية، ص 50.

الـذي يتكـون مـن خلـيط مـن الألـومين، السـيليس والحديـد والتي تختلـف مقاديرهـا، وتسـاهم هـذه المـواد المضـافة في تشـكيل تفاعـل بـوزولاني أيـن تتفاعـل سـيليكات الألومينـات والمـواد المضـافة مـع الجير وماء العجين.

ب- البوزولان الاصطناعي:

هو مادة سليكونية ليست أسمنتية في ذاتها ولكنها تكتسب خواص الأسمنت الهيدروليكي عند تفاعلها مع الجير والماء.

ج- المواد المبللة والمغطية والملدنة:

تسـتعمل لتحسـين تركيبـة المـواد، ولـديها إمكانيـة جعـل الخلـيط أكثر ليونة، كما أنّها تساهم في تسهيل التطبيق ومن أهم المواد المبلّلة: الصابون، بعض أنواع الصمغ،...إلخ.

د- المثبتات:

تسـاعد في تثبيـت الصـبغ، وعـادة مـا تسـتعمل في الجير كعامـل رابط.

هـ- المواد المصلبة :

تضاف بعض المواد لتقوم بتصليب الملاط والطلاء، وتتمثل هذه المواد في شحوم الأمعاء والصمغ الطبيعي وصمغ الصنوبر الاصطناعي .

و- موانع الرطوبة :

دورها التخفيض من دخول الماء وتحسين قدرة الشعيرات ومن بينها : الشحوم، شحوم الأمعاء واستيارات المغنزيوم.

ي- الصبغ واللون:

هي مواد ملونة غير قابلة للذوبان تقوم بتكوين الواجهات دون أن تنفذ تماما داخل المادة على عكس الصباغة، ويستخلص الصبغ عامة من مواد أصلها معدني أو من المعدن أو في بعض الأحيان من النباتات. أما اللون يصنع من الطلاء الجيري بإضافة الصبغ ماعدا في حالة ماء الكلس الأبيض أين يلعب الجير دور الملون.

2- أنواع الملاط:

1.2- ملاط الوضع والأساسات:

هو ملاط يتكون من الجير، الرمل، مسحوق الآجر والقرميد والماء وهـذه تركيباتـه حسـب مـا وضـعها (*Vitruve*). وهـو عامـة يشـكل مـلاط الفتـرة القديمـــة، حيـــث يتكـــون المـــلاط الرومـــاني الجيـــر، مـــواد بوزولانية،الرمل والماء[1].

أ- 01 حجم من الجير +03 أحجام من الرمل (الـوادي، البحـر) + من 15 -20% من الماء.

ب- 01 حجم من الجير +02 أحجام من الرمل (الوادي، البحر) + 15من -20% من الماء.

ج- 01 حجـم من الجير +02 أحجـام من الرمل (الـوادي، البحـر) +01 حجم من مسحوق الآجر و القرميد+15-20% من الماء.

د- 01 حجـم مـن الجير +02 حجـم مـن البـوزولان+ مـن 15-20% مـن الماء[2].

---

[1]- Cédrie Avenier, Bruno Rosier, Denis Sommain, **Ciment naturel**, Italie. 2007, p 94.

[1]- Frédéric, Davidovits, **Les mortiers de pouzzolane artificiels chez Vitruve, évolution et historique architecturale**, France, 1995, p 11.

2.2- ملاط الربط:

حسـب (*Vitruve*) فإنّـه يمكـن اسـتعمال مـلاط الوضـع كـرابط خاصة فيما يتعلق بالربط بين الآجر كبيرة الحجم، كما يمكن استعماله أيضا في مختلف طبقات الطلاء مع الاختلافات في حجم حبيبات الرمل في كل طبقة، يستعمل خاصة في الطبقة الأولى *Le gobetis* من الطلاء، هي نادرة الاستعمال من هذا الملاط نجده في روما على الجدران الشمالية للساحة *L'atrium de Vesta*، حيث طبقاته سميكة جدا وبدلا من 03 طبقات فقد طبق على الجدران 04 طبقات حيث الطبقة الرابعة تتـكون من هـذا الملاط (01 حجـم مـن الجير +02 أحجـام مـن الرمـل (الوادي، البحر) +01 حجم من مسحوق الآجر و القرميد+15-20% من الماء).

حسب (*Jean-Pierre Adam*) يمكن استعمال الجير اللبني *lait de chaux* الذي يتم تحضيره مع 70% إلى 80% من الماء والرمل، وهذا ما نجده في الفترة الهيلينستنية[1].

[1]- Jean-Pierre Adam, **La construction romaine, matériaux et techniques**, 3em édition, France, 1995, p 78.

في جنـوب فرنسـا اقترحـت شـركة البنـاء (*Charpentier*) أربعـة أنواع من الملاط حيث قامت بتجربتين عليها، الأولى تكون الاختلافات في نسبة الرابط (الجير)، والثانية يتمثل الاختلاف في نسبة الماء المستعمل. وفي الأخير توصلوا إلى اختيار أحسن تركيبة لاستعماله كملاط لربط بين مـواد البنـاء بحيـث كانـت النتـائج كمـا يلي: نفاذيـة 35.90%، المقاومـة الميكانيكية للانكسار 0.2 *MPA*، المقاومة الميكانيكية للضغط0.1 *MPA* ، وهي مقاومة ضعيفة جدا إلا أنّه استعمل للترميم بفرنسا.

هناك وصف دقيق لطريقة تحضير الملاط مع تحديد المواد التي تدخل في تركيبه، فحسب ما ذكر" ابن خلدون"يأخذ قسمين من رماد الخشب وثلاثة أقسام من الجير وقسم واحد من الرمل الرفيع بعد غربلته، تخلط هذه المواد مع بعضها باستعمال عمود من الخشب مدة ثلاثة أيام وثلاثة ليالي بدون انقطاع وفي نفس الوقت وبالتناوب يضاف الماء والزيت حتى يصبح قابل لاستعمال.

3- الطلاء و أنواعه:

يتكون الطلاء من ثلاثة طبقات وهذا ما يمكن ملاحظته عند إجراء مقطع طولي على مستوى طبقة من الطلاء مع تجانس المواد

المسـتعملة في كـل طبقـة. والطـلاء مصـنوع أساسـا مـن الجيـر المـائي الطبيعي، مكون من ثلاث طبقات منتظمة ذات أسماك مختلفة إذ تتميز كل طبقة بقوة ميكانيكية مميزة، أكبرها الطبقة الأولى. وهي كالتالي:

1.3- الطبقة الأولى *Le gobetis*:

وهي طبقـة الشـد تسـمح بتحقيق التكامل بين مختلـف مواد البنـاء الأخرى، كما تضمن الترابط مع طبقات الطلاء الأخرى، ويجب أن توضع بإتقـان لنجـاح الطبقـة الثانيـة، وهـذه الطبقـة لا يجـب أن تكـون ذات صلابة وقساوة أكبر من السند المعماري *le support* الذي تطبق عليه.

2.3- الطبقة الثانية *Le Corp d'enduit*:

طبقـة ذات سـمك أكبر من الطبقتين الأولى والثالثة هدفها تنظيم وتسـوية سـطح الطبقة الأولى.

3.3- الطبقة الثالثة *La finition*:

آخـر طبقـة هـدفها الرئيسـي جمـالي وتزييني وعازلـة للرطوبـة، هـذه الطبقـة رقيقـة جدا تعطي للطلاء الوجه الحقيقي. يجب أن تكون ذات صلابة وقساوة أكبر من السند المعماري *le support* الذي تطبق عليه.

المحـور السـادس: الآجـر الأثـري

1- تعريف الآجر؛

2- مراحل تصنيع الآجر؛

3- خصائص الآجر.

الآجـر الأثـري

1- تعريف الآجر:

من مواد البناء التي تستخدم في إنشاء الجدران، السقوف المقببة تبليط الأرضيات، وكسوة السقوف المائلة والجدران، مصنوع من الطين يـرتبط ميكانيكيـا ويطهى في فـرن[1]. قـد لـوحظ اسـتعماله في إنشـاء الجدران في خزانات الماء بسكيكدة.

تعتبر مادة الآجر من أقدم المواد المستخدمة من طرف الإنسان عبر العصور وذلك لسهولة استعماله واستخراجه السهل من المحاجر، وتعتبر طينتها من أصلب المواد أثناء عجنها وتجفيفها، وفي نفس الوقت خفيفة الوزن، وذات مقاومة كبيرة للعوامل الخارجية، ومادة زخرفية تزيينية[2].

---

[1]-Anwar, Matar, **Al-wafer dictionnaire, Français-Français**, Dar el-fikr, Beyrouth, Liban, p 131.

[2]- نقولا، نقاش، **الآجر**، دار المعارف، المجلد الأول، بيروت، 1956، ص 78.

تختلف مادة الطينة من مكان إلى آخر، لذا لا يمكن إعطاء نسب ثابتة للتركيبة الكيميائية، غير أنّ أهم هذه المركبات سليكات الألومين المائية الممزوجة بالكلس والرمل الناعم بعد تنقيته، إضافة إلى الأكاسيد المعدنيـة منهـا الحديـد الـذي بـدوره يعطي اللـون الأحمـر بعـد عمليـة التفخير والتسوية[1].

وللآجر مقاسات ومراحل يمر بها قبل الاستعمال حيث طول الآجر شبر واحد (ما بين 20سم إلى 25سم)، وعرضها نصف شبر، أما سمكها فيتراوح مابين أصبعين إلى ثلاثة أصابيع[2].

نتحصل على الآجر من الغضار المقولب، وتعتبر صناعة الآجر من أقدم صناعات مواد البناء المعروفة، وتختلف أحجام الآجر باختلاف استعمالاته من قالب صغير الحجم (10 إلى 18سم)، قالب متوسط الحجم (12 إلى 22سم)، قالب كبير الحجم (14 إلى26سم). ونشير في

[1]- عبد الرحمن سعد، زغلول، **العمارة والفنون في دولة الإسلام**، دار المعارف، الإسكندرية، مصر، 1986، ص230.

[2]–Sauvaget, (J), **Introduction a l'étude de la céramique musulmane**, Paris, 1966, p 53.

هذا الصدد، إلى أنّ قياس هذه الأحجام ليس ثابتا، بل يمكن أن يخضع للتعديل بين أنواع الآجر.

2- مراحل تصنيع الآجر:

للحصـول على نوعيـة جيـدة مـن الآجـر لا بـد مـن تصـفية الطينـة المسـتخرجة خاصـة مـن التـأثيرات الخارجيـة في فصـل الشـتاء بعـدها توضع في أحـواض كبيرة يبلغ سـمكها 50سـم، ويتم تحريكها يوميا حتى يتسـرب المـاء بصـفة كاملـة في خلايـا الطينـة المحضـرة، وقـد تـدوم هـذه العملية حوالي شهر أو شهرين.

ويـؤثر عـدم تجـانس المادة لاحقـا على الآجـر بعـد قولبتـه وحرقـه، فـإذا ظهـرت تشـقّقات على الآجـر المصـنوع فالعيـب يكمـن في الشـوائب الموجودة بداخله والتي لم تصفى جيدا، ولتفادي هذه المشكلة لا بد من ترك المادة مدة طويلة على طبيعتها الأصلية وكلما طالت المدة تنقل أكثر

مـن الشــوائب[1]، وتتضــمن تقنيــة الصــناعة عمليتــين تعــرف الأولى بالقولبة والثانية التجفيف، وهما كما يلي:

المادة الأولية:

المادة الأولية لصنع الآجر هي الغضار، وهو ناتج من تفتت بعض الصخور الطبيعية بفعل عوامل الطبيعة، وأشهر فلزات الغضار هي: الكاولينيت، الإيليت، والمونت موريونيت. وتحتوي كلها على نسب مختلفة من السيليس SiO_2 والألومين Al_2O_3[2].

ويمر الآجر بمراحل تصنيع ومن أهمها:

أ- الاستخراج أو تحضير المادة الأولية:

وفيها يتم تفتيت كتل الغضار وتنقيتها من الشوائب، ثم تحضير العجينة بالسحق والهرس ثم خلطها وبعدها يتم ترطيب العجينة بإضافة الماء.

---

1 -Adam (J.P), **La construction romaine, matériaux et technique**, 3ème édition, Paris, 1995, p 62.

2- هزاز عمران، جورج دبورة، المرجع السابق، ص212.

ب- التشكيل والقولبة:

عملية القولبة هي التي تعطي الشكل النهائي للقطعة، وتتم بوضع المادة داخل قوالب خشبية تختلف أحجامها من منطقة إلى أخرى، وتوضع على أرضية ملساء حتى تكون سهلة النزع وملساء الظهر حتى لا تصعب على الصانع في طلاء الجدران. أو فوق طاولة مخصّصة لذلك، حيث تملأ القوالب ويمرر عليها الصانع آلة حديدية لضغط الطينة، ثم ينزع ما هو زائد عن سعة القالب، ولكي تسهل هذه العملية يجب أن تكون العجينة دسمة نوعا ما حتى يسهل استخراج الطينة من القالب دون ضرر أو تشقق.

ج- التجفيف:

تأتي عملية التجفيف بعد القولبة مباشرة وتهدف إلى إزالة الماء الموجود في الطينة، ويستحسن إجراء هذه العملية بعيدا عن أشعة الشمس وخاصة في الصيف، وهذا كي تتبخر كمية الماء الموجود فيها ببطء وبالتالي فإنّ هذه العملية تأخذ وقتا طويلا.

بعـد إتمـام عمليـة التجفيـف طبيعيـا يوضـع الآجـر داخـل أفـران تتراوح درجـة حرارتهـا بـين 800°م و1200°م وهي كافيـة لتسـوية الطينـة المحضرة.

إنّ الاسـتعمال الواسـع لهـذه المـادة يرجـع إلى خفّتهـا وسـهولة تشكيلها، وانخفاض تكلفتها، إضافة إلى قوة التحمل العالية حيث تصل إلى مـابين 60 كلـغ/سـم^2 و 360 كلـغ/سـم^2، أي أنّ القطعـة الواحـدة إذا وضـعت تحـت ضـغط أقصـاه 360 كلـغ فإنّهـا تقـاوم[1]. كمـا يعتبر عـازلا للحرارة والرطوبة.

د- الحرق والتبريد:

وهي عمليـة إكسـاب القطع المشكلة القساوة والصلابة بحرقها في أفـران خاصـة، أمـا بالنسـبة لعمليـة التبريـد يجـب أن يحـدث تـدريجيا لتجنّب تشـقّقها.

[1] -Golvin (L), **Essai sur l'architecture religieux musulmane , Hispano-Musulmane,** Edition :Klinek sieck, T O4, Paris, 1979, p 265.

3- خصائص الآجر:

يتمتع الآجر بمواصفات إنشائية جيّدة فهو مادة عالية المقاومة للضغط وخفيفة الوزن وجيدة العزل للحرارة والرطوبة، بالإضافة إلى كونها جميلة الشكل واللون.

أ- الكتلة الحجمية: تتراوح بين 1200كلغ/م^3 و1500كلغ/م^3 للآجر المثقب والمجوف و1800كلغ/م^3 للآجر الممتلئ.

ب- قوة مقاومة الضغط: تتراوح بين 60كلغ/سم^2 و360 كلغ/سم^2 للآجر العادي.

ج- الامتصاص: وتعتمد على العجينة وطريقة التصنيع، وكذا درجة الحرق حيث أنّ لدونه الطين، ودرجة الحرارة العالية ينتج عنها وحدات ذات امتصاص عالية للماء لا تقل عن 8%.

د- المتانة: تعتمد على درجة الحرارة أثناء عملية التصنيع وكذلك على عدم وجود أملاح في العجينة ينتج عنها وحدات أقسى وأصلب.

المحور السابع: عـوامـل التلـف، مظاهرها وطرق الصيانة والترميم للمـواد الأثريـة

1- عوامل التلف الداخلية؛

2- عوامل التلف الخارجية؛

3- أشكال ومظاهر تلف المواد الأثرية؛

4- طرق صيانة وترميم المواد الأثرية؛

5- الأسس العامة للصيانة و الترميم؛

6– التدخلات.

عـوامل التلـف، مظاهرها وطرق الصيانة والترميم للمـواد الأثريـة

يعـرف بالفعل الناتج عن اتحاد بعض العوامل الطبيعية كالمياه، الحـرارة، الرياح والعواصف...الخ، التي لا تسبّب التحلّل المباشر للمواد فحسـب، بـل تسـبّب أنواعـا مختلفـة مـن الأعـراض غير المباشـرة أو الثانويـة، ذات التـأثير المخـرب كنمـو البكتيريـا، انتقـال الأمـلاح، ترشـيح المكونـــات القابلـــة للـــذوبان، ويمكـــن أيضـــا ملاحظـــة التغيـــرات الفيزيوكيميائية[1].

باختصـارٍ هـو جميـع التغـيرات الكيميائيـة أو الفيزيائيـة التي تحـدث على الخصـائص الطبيعيـة للمـواد، والتي تقـود في الغالـب إلى فقدان قيمتها أو نوعيتها أو تمنع استعمالها.

التلـف هـو حالـة مـن التغـير والتـبدل للمـادة في خصائصـها الميكانيكية والفيزيائية بفعل عوامل داخلية تتمثل في الطبيعة التركيبية

[1]- المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، **صيانة التراث الحضاري**، تونس، 1990، ص 231.

للمـادة في حـد ذاتهـا، وعـوامـل خارجيـة تتمثـل في البيئـة المحيطـة بهـا ونقصد بذلك كل من الحرارة، الرطوبة، الماء، الأملاح والكائنات الحية.

بـالرغم مـن اخـتلاف أسـباب التـدهور إلا أنّ نتائجهـا المتمثلـة في تلف المواد لا تختلف، ويرجع تدهور مواد الآثار التاريخية عامة إلى عدّة عوامل، خاصّة منها العوامل المناخية وحتى العوامل الداخلية بالإضافة إلى النشاط البيولوجي وحتى البشري.

يمكن تقسيم عوامل التلف إلى عوامل داخلية وأخرى خارجية.

1- عوامل التلف الداخلية:

تتدهور المواد الأثرية بفعل تغير في الصيغة الكيميائية أو الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي اكتسبتها هذه المواد خلال عمليات التصنيع (التركيـب الكيميـائي والبلـوري، المسـامية، النفاذيـة، الصـلابة، المـواد الرابطـة الداخلـة في تكوينهـا، وقـوة التحمـل الميكانيكي)، باعتبـار أغلبهـا مـواد غير أوليـة باسـتثناء الحجـارة، وهـذا مـا يصـطلح عليـه بعيـوب التصنيع، كما أنّ للتغير في التركيبة الكيميائية للمواد المشكلة للمواد بفعل القدم وبفعل تدخل عوامل أخرى سواء كمسرع للتغير الكيميائي أو كمؤثر مباشر عليه.

وتشمل كل ما يتعلق بالخواص الطبيعية والكيميائية للمواد مثل: تركيبها الكيميائي والبلوري، مساميتها، نفاذيتها، صلابتها، المواد الرابطة الداخلة في تكوينها وقوة التحميل الميكانيكي، إذ أنّ الخواص تلعب دورا هامّا في إتلاف المواد ما لم تكن لها القدرة على مقاومة عوامل التلف، هذا بالإضافة إلى ظروف نشأتها[1]. ويمكن أن نلخص هذه العوامل الداخلية فيما يلي:

1.1- التغير في التركيب المعدني والكيميائي:

التركيبة المعدنية للصخور تعبّر عن مدى مقاومتها لعوامل التلف، والمكونات التي تتفاعل مع الماء هي الأملاح القابلة للذوبان، وهناك مكونات تتفاعل مع الأحماض المتواجدة في الجو وهي كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم[2]. إنّ بعض المعادن الثانوية المكونة للتركيب

---

[1]- محمد (عبد الهادي محمد)، **مبادئ ترميم وصيانة الآثار غير العضوية**، مكتبة نهضة الشرق بجامعة القاهرة، القاهرة، 1996 م، ص 86.

[2] -Torraca (G),"**l'état actuel des connaissances sur les altérations des pierres : causes et méthodes de traitement**", dans: **matériaux et constructions** , vol.7, N 42, 1974, p 376.

الداخلي للمواد لها دور هامّ في زيادة نسبة المحتوى الملحي دون الاعتماد على الأحماض أو الأملاح من التربة المحيطة بالأثر[1].

يستطيع الماء الصافي أن يحلّل الجير من 1.3 إلى 1.6 غ/ل فيفقد الملاط بشكل متواصل جزءا من مميزاته فيحدث نفس الشيء فيما يخص الماء الحمضي والمواد الحمضية التي تسللت في البناء نجد الغاز الكربوني (CO_2) الذي يسهّل انحلال الكلس على شكل بكربونات الكالسيوم الجد قابلة للذوبان.

2.1- الإجهادات الداخلية:

للمسامات دور مهم أيضا في تلف المواد ، فهي تحتوي على عدد كبير من المسامات الصغيرة تكون أقلّ مقاومة لعوامل التلف، أما المسامات الأكثر اتّساعا فهي تتسبّب في أخطارٍ أقل، فيمكن القول إذن أنّ المواد التي تحتوي على عدد أقل من المسامات تكون أكثر مقاومة. هذا وتنشأ الإجهادات الداخلية بشكل واضح في المواد المسامية، ناتجة عن ضغط الماء المسامي والأملاح المتبلورة وأخطرها الأملاح قليلة التميع،

[1]- صليب (مرفت ثابت)، **تأثير المياه الجوفية على المباني الأثرية**، الطبعة الأولى ، الدار العالمية للنشر والتوزيع، الجيزة، 2008 م، ص 142.

لأنّه عند اتصالها بالماء تنقسم البلورة الواحدة لتحدث ضغوط في جميع الاتجاهات ينتج عنه تمزق المواد الرابطة وباستمرار هذه العملية تتّسع التشقّقات وقد تنتهي بالانهيار الكامل لبنية المواد الأساسية.

2- عوامل التلف الخارجية:

يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع وهي : عوامل فيزيوكيميائية، عوامل ميكانيكية وعوامل بيولوجية.

1.2- العوامل الفيزيوكيميائية:

1.1.2- الأملاح:

من المعروف أنّ للأملاح دورا خطيرا في تلف الآثار بحيث تتبلور إما على السطح أو بالقرب منه أو حتى داخل المسامات.

وتعتمد عملية تكوين الأملاح على العديد من العوامل، أهمّها المسامات، فتعتبر هذه الأخيرة بشتى أنواعها مواد مسامية (نفوذة)، أي تحتوي على عدد غير محدود من المسامات الصغيرة في بنيتها، فيمكن لهذه المواد عن طريق ظاهرة الحلول أن تمتص الماء والأملاح من التربة، فالتربة تحتوي جميعها على أملاح ذائبة بنسب مختلفة، إضافة إلى أنّه

يمكـن للأملاح أن تـدخل عـن طريـق المسـامات إما يكـون مصـدرها ميـاه الأمطار أو المياه الجوفية[1].

كذلك من المصادر الأخرى للأملاح نجد المواد الرابطة المستخدمة في عمليات البناء وكذا الترميمات السابقة.

هذا ويمكن أن تؤثر الأملاح على المواد بطريقة الضغط أو الدفع، وهو يشبه ضغط الجليد، وهذا الضغط يعتـمد على نمو بلـورات الملح في المسامات الواسعة أو الشقوق عندما تمتـص هذه البلـورات الملحـية المحـلول المائي من المسامات الصغيرة، ولو استمر مص الماء فستمتلئ المسام الواسعة بالبلورات الملحية مسبّبةً ضغوطا داخلية متلفة للمواد.

2.1.2- درجة الحرارة:

لا شك أنّ درجة الحرارة تلعب دورا هاما وخطيرا في تلف المواد، حيث تتسبّب في عمليات التبخر السريعة للسوائل الحاملة للأملاح،

[1]- غنيم (خالد)، بيرخينيا (باخه ديل بوثو) ، **علم الآثاروصيانة الأدوات والمو اقع الأثرية وترميمها**، تعريب غنيم (خالد)، الطبعة الأولى، بيسان للنشر والتوزيع والإعلام ، لبنان، 2002م، ص 49.

مؤدية في النهاية إلى تبلور هذه الأملاح إما على أسطح هذه الأحجار أو تحتها مباشرة.

كما تسبّب التغيرات الحرارية تمدّد وتقلّص يختلف حسب نوع المعادن المشكلة للطبقة، تؤدي التمدّدات المختلفة للبلور بتكوّن ضغطات داخلية حيث تكون هذه التمدّدات متعاكسة الاتجاهات أحيانا ويختلف معامل التمدد الحراري بين الحامل والجير.

كما أنّ التغير المفاجئ الذي يطرأ على درجات الحرارة ما بين الليل والنهار، وتناوب الشمس مع المطر، يؤدي ذلك إلى تفتيتها أو ظهورها بمظهر حبيبي.

تخضع مواد البناء يوميا وموسميا لدورات الحرارة، ومثل هذه الدورات تكون مصادر هامّة للضغط، لأنّها تؤدي إلى تمدّد هذه المواد عند ارتفاع درجة الحرارة، وانكماشها عند انخفاض درجة الحرارة. ويختلف الضغط في أجزاء المواد المتجانسة، بين السطح الخارجي المعرض مباشرة لعوامل البيئة ويتأثر بالتغير الكبير في درجات الحرارة، وبين الأجزاء الداخلية التي تبعد عن المؤثرات الخارجية المباشرة وبذلك تكون درجة حرارتها أقل من درجة حرارة السطح، وعندما تظهر

الشـقوق في العناصـر المعماريـة غالبـا لا تعـود إلى حالتهـا الطبيعيـة مـرة أخرى، وذلك لأنّ حطام مواد البناء يسقط داخل هذه الشقوق ويؤدي إلى توسّعها تدريجيا.

3.1.2- الأحماض:

يمكـن أن تـؤدي الأحمـاض الموجـودة في التربـة إلى عمليـة تحلّـل الحجارة الكلسية مع وجود الرطوبة.

وفي مثـل هـذه الظـروف التي تتواجـد فيهـا المـادة فـإنّ كربونـات الكالسيوم والمغنيزيوم الموجودة في بعض مواد البناء مثل الحجر الجيري والرخام وملاط الجير ربما تتحول إلى بكربونات وتتحلّل ببطء.

4.1.2- التلوث البيئي:

يحتـوي الجـو الملـوث على كميـات مختلفـة مـن أكسـيد الكبريـت النـاتج عـن حـرق الكبريـت الـداخل في الوقـود، وأكسـدة ثـاني أكسـيد الكبريت يؤدي إلى إنتاج حمض الكبريتيك .

ويعـرف أيضـا بأنّـه حـدوث تغيير وضـلل في مكونـات البيئـة الحيـة وغير الحية، حيث يؤدي إلى شلل النظام الايكولوجي، أو يقلّل من قدرته

على أداء دوره الطبيعي في الـتخلص الـذاتي مـن الملوثـات الناجمـة عـن عـوامل كثيرة بفعل الإنسـان.

تتمثل العناصر الملوثة الأكثر خطرا في أنهيدريد الكبريت وأنهيدريد الكربون ولم يتم الفصل فيما إذا كان أكسيد الآزوت ضارا.

يتحـول أنهيدريـد الكبريـت SO_2 إلى حمـض كبريتي SO_3 H_2 بوجـود الرطوبـة أو المـاء وهـذا مـا يـؤثر مباشـرة على بنيـة طبقـة الجير، ينتقـل المحلـول الحمضـي المحتـك بـالجير ليكـون سـولفات الكالسـيوم $CaSO_4$.

يحتـوي الجـو الملـوث على كميـات مختلفـة مـن أكسـيد الكبريـت النـاتج عـن حـرق الكبريـت الـداخل في الوقـود، وأكسـدة ثـاني أكسـيد الكبريت يؤدي إلى إنتاج حمض الكبريتيك، وهو حمض قوي.

وعلى كل حال فإنّ تأثير تلوث الهواء على مواد البناء معقّد جدا، وغير معـروف لنـا تمامـا، وذلـك بسـبب وجـود العديـد مـن الملوثـات التي دائما ما تكون موجودة.

يعـد النمـو الصـناعي مصـدرا مـن مصـادر التلـوث الهـوائي الـذي يمـس بصـفة خاصـة المبـاني التاريخيـة، حيـث يـؤدي إلى إصـابتها بـالمرض الأسـود، يـؤدي ذلـك إلى ظهـور تشـوهات على مـواد البنـاء، وذلـك بتكـوين غشـاء عجيني أسـود على أسـطح واجهـات المبـاني الأثريـة، ومـن الملوثـات أيضا النفايات الصناعية والقمامات ويكون التأثير المدمر لهذا النوع من التلوث مرتبطا أساسا بمواد المبنى الأثري.

وخـلال السـنوات الأخيرة أصـبح تلـوث الهـواء والمحـيط يلعـب دورا كبيرا في تـدهور مختلـف مـواد البنـاء إذ يجـب أخـذه بعين الاعتبـار، فقـد توصل علماء البيئة بعد دراسات دقيقة إلى أنّ البيئة الطبيعية البعيدة عــن المنــاطق الصــناعية تتــألف مــن المكونــات التاليــة، الأزوت 78%، أكسجين 21%، غازات نادرة 0.95%، أنهيدريد كربوني 0.03%.

إذا كـان الجـو جـاف ينتقـل المحلـول إلى الخـارج و يتبخـر المـاء وتترسـب الأملاح القابلـة للـذوبان على السـطح، ويـؤدي تكـرر هـذه الـدورة إلى هشاشـة المواد وتشكل قشـرة على السـطح.

5.1.2- التغير في معدلات الرطوبة:

يمكن أن يكون مصدر هذه الرطوبة هو التربة بحيث تكون مواد البنـاء متصـلة مباشـرة بالتربـة، حيـث تصـعد هـذه الميـاه بالخاصـية الشعرية إلى داخل مسامات ونسيج مواد البناء المختلفة.

كما أنّ لانخفاض معدل الرطوبة من المستوى المطلوب أضرارا تصيب مواد التراث.

6.1.2- الأمطاروالثلوج:

تسبّب الأمطار مخاطر شديدة يصعب مواجهتها خاصّة المباني الجيرية، حيث تنجح الأمطار كثيرا في التغلغل داخل المبنى من خلال الفراغات بين الحجارة وكذلك عبر مسامات مواد البناء، وتؤدي تدريجيا إلى التسبّب في أضرار جسيمة بالمبنى، وغالبا ما تكون هذه الأمطار مصحوبة برياح شديدة السرعة، ودرجة تشبع الجدران بمياه المطر تعتمد على نوع مادة البناء، أما سرعة جفافها فهي تعتمد على درجة

حرارة الجو المحيط بالمبنى وسرعة الرياح والرطوبة وذلك على نوع مادة البناء[1].

أمـا بالنسـبة للثلـوج فإنّـه يجـب أخـذ وزنهـا في الاعتبـار كأحمـال إضافية على السـطح، وكذلك فإنّها تنفذ داخل المسامات والشروخ بعد ذوبانها.

للماء أيضا فعل ميكانيكي آخر، يتمثل في ازدياد حجم الماء الذي يتواجد في مسامات المواد، وعندما يتحول من الطور السائل إلى الصلب بانخفاض درجة الحرارة، يسبّب في ظهور التشققات أو تقشر الأجزاء الهشة من السطح.

2.2- العوامل الميكانيكية:

1.2.2- الاهتزازات:

[1]- خليل إبراهيم واكد، **أسباب انهيار المباني: طرق الترميم والصيانة**، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 1996، ص84.

يعتبر فتح الشوارع بجانب المباني الأثرية من أهم العوامل المسبّبة للاهتزاز، وذلـك لعـدم إحاطتهـا بمصـد للاهتزاز، مـا يـؤدي إلى ظهـور التشـققات، وقـد تحـدث الاهتزازات أيضـا بسـبب بواعـث فرديـة مثـل التفجيرات التي تحدث أثناء الحروب أو تفجيرات المحاجر، بالإضافة إلى صدى الصوت، ونتيجة لذلك يتناوب في عناصر المباني إجهادات شد وضغط سريعة ومتتابعة يكون لها تأثيرات خطيرة في العناصر المتشابكة.

2.2.2- الـزلازل :

الزلازل عبارة عن ارتعاش أو تحرك عنيف في الصخور القريبة من سـطح الأرض، وتنشـأ الـزلازل إما نتيجة حدوث انفجار بركاني أو صدع وانـزلاق الصخور عليـه ممـا يـؤدي إلى حـدوث حركـة وذبـذبات سـريعة تنتشر في جميع الاتجاهات مسببة هزة أرضية[1].

[1]- باشا (سعد حسن صالح)، **الجيولوجيا العامة والبيئة**، الطبعة الثانية، دار زهران للنشر والتوزيع، الأردن، 1996م، ص 103.

تقـوم الـزلازل بالتـأثير على مـواد البنـاء خاصـة بقـوّة أفقيـة كبيرة واهتزازات عرضية نتيجة تحركات التربة مما يؤدي إلى انهيار المبنى إذا لم يتم تصميمه لمقاومة هذه القوى الإضافية[1].

3.2.2- الرياح والعواصف:

للريـاح تـأثير كبير في تلـف المـواد ويتمثـل في قـدرة هـذه الريـاح على حمـل كميـات كبيرة مـن الرمـال التي تتسـبّب في تلـف ونحـر المـواد أثنـاء الدوامات والعواصف الرملية.

4.2.2- الإتلاف البشري:

تتمثـل مظـاهر الإتـلاف البشـري في الحرائـق، الحـروب، الإهمـال وأعمال الهدم المتعمّد وكذا الترميمات الخاطئة.

تحدث الحرائق أضرارا بالغة بمواد البناء على اختلاف طبيعتها، فعلى سبيل المثال فإنّ النيران تحدث تحولات كيميائية في مواد البناء،

---

[1]- بيشـار (بيير)، **الآثـار والـزلازل : إجـراءات الطـوارئ و تقـدير الأضـرار بعـد الزلـزال**، ترجمـة : غالـب (علي)، النشـوقاتي (هبـه)، مراجعـة : بكـر (محمد إبـراهيم)، مطبعـة هيئـة الآثار المصرية، مصر، 1992 م، ص 57.

وعلى وجه الخصوص المواد الجيرية التي تتحول بفعل الحرارة العالية إلى جير حي قليل الصلابة، سريع التفتت. وجدير بالذكر أنّ بقع السناج الناتج عن الحرق ينتج عنه كميات كبيرة من الغازات الحمضية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون أو أكاسيد الكبريت.

تعتبر الحروب من أخطر الأضرار التي يلحقها الإنسان بآثار الحضارات وتزداد شدّة هذا العامل بمدى تقدم أدوات الحرب وأسلحتها، خاصّة وأنّ الحروب والغزوات كانت منذ القدم مصدر هدم وتخريب لجميع مظاهر العمران.

الإهمال وترك العناية للمباني الأثرية يؤدي إلى زيادة في ظهور التشقق والانهيار، دون معالجة سريعة لبوادر التصدع.

كما يشجع ضعف الرقابة أحيانا على اتخاذ المباني المهجورة والأطلال مقلعا يأخذ منه الطامعون الحجارة ومواد البناء، فيزيدون تلك الآثار تهدما، كما يلجأ اللصوص إلى تخريبها لسرقة ما فيها من عناصر زخرفيه وغيرها للمتاجرة بها.

من الأخطار التي تتعرض لها المباني الأثرية والتاريخية، الأخطاء التي يقع فيها المرممون قليلو الخبرة عند ترميم هذه المباني، وقد تؤدي

عمليات الترميم غير المدروسة دراسة كافية إما إلى طمس بعض معالم البناء أو إلى تغيير عناصره، عن طريق إزالة عناصر كانت موجودة أصلا أو باستحداث عناصر أخرى أو تشويه طرازه وسماته المميزة.

3.2- العوامل البيولوجية :

ونعني بها عوامل التلف المرتبطة بالنباتات والحيوانات والحشرات والكائنات الحية الدقيقة[1].

تحتاج الكائنات الحية كافّة إلى قدر من الماء، ومن ثم فإنّها لا تتحمل حالة الجفاف، ولا البرودة أو الحرارة العالية، والعديد منها لا يعيش في المستويات العالية الملوحة، أو في وجود نوع معين من المواد الكيميائية العضوية المعقدة.

تشكل مواد عضوية (بكتيريا، الطحالب، الفطريات والنباتات) تعتبر كذلك سببا من أسباب تدهور الملاط لأنّها تمتص الأملاح المعدنية

[1]- كرونين (ج.أم) ، روبنسون (و.س.)، **أساسيات ترميم الآثار**، ترجمة الزهراني (عبد الناصر بن عبد الرحمن)، جامعة الملك سعود للنشر، المملكة العربية السعودية، 2006 م، ص 20.

الموجودة فيه كما يؤدي كذلك الضغط الذي تسبّبه أحجام جذور هذه المواد العضوية إلى تفتت الملاط والزينات وتتسبّب النباتات في تدهور الزينات.

1.3.2- النباتات:

عندما تتجمع مياه الأمطار في التربة التي تحتضن أساسات المباني الأثرية فإنّ بذور النباتات التي تحملها الرياح والطيور، والتي تستقر عادة في الشقوق والفواصل، تنمو وقد تصبح أشجارا حقيقية، وتسبّب هذه النباتات وخاصة عندما تخترق الفواصل والشقوق في تصدع المباني. وقد تسبّب جذور الأعشاب والشجيرات أو الأشجار في تكسر مواد البناء، وحتى لو كانت هذه المباني تبعد قليلا عن الأشجار[1].

2.3.2- البكتيريا:

تشكل البكتيريا مجموعات ذات خلية واحدة، قد لا ترى بالعين المجردة، ولكن في العادة يمكن شمّها، حيث أنّها تفرز رائحة مميّزة،

[1]- عبد المعز، شاهين، **طرق صيانة وترميم الآثار والمقتبنات الأثرية**، مطابع الهيأة المصرية العامة للكتاب، مصر، 1994، ص178.

وعندما تتوفر بكميات كبيرة قد تظهر إما في شكل بقع ملونة، حيث أنّ العديد منها ينتج جزيئات صبغية، أو في شكل قشريات، أو نجدها في شكل مواد لزجة.

3.3.2- الطحـالب:

هي نباتات بسيطة جدا تعيش في الأماكن الرطبة أو في مياه البحر أو المياه العذبة، ويمكن أن تظهر في شكل وحل أخضر أو بني اللون أو عوالق في المياه، تعطي الزيادة المفاجئة في أعدادها لونا ناصعا كثيفا يعـرف بـالتزهر. ويعـد النـوع البحـري أكبر أنـواع الطحالـب وتهـاجم الطحالب باستمرار مواد البناء في الأجواء الرطبة.

تهـاجم الطحــالب باســتمرار مــواد البنـاء في الأجــواء الرطبـــة، ونادرا ما تتغــلغل في عمقـها، وبالرغـم من ذلك فإنّه تم الاســتدلال على نـوع من الطـحالب يثقب الحجر ويسبب انتـفاخ وانفـلاق الصخور، إلّا أنّ التلـف الأكــثر شيوعا الـذي تسبّبه هـو تحلل الأسـطح، ويكون هـذا التحلّـل خطير ويحـدث أضـرار بالغـةً خاصّـة إذا كانـت هـذه الأسـطح منحوتة أو مرسومة.

4.3.2- الأشنات أو الحزازات :

هي كائنـات حيـة تنمـوا في مسـتعمرات تـرى بـالعين المجـردة، مرتبطة بالطحلب والفطر، وهذا يعني أن لها القدرة على تحمل درجات عاليـة من الجفـاف والرطوبـة، ومثل الكائنـات الحيـة الفرديـة الأخـرى، فهي هوائية وتفرز كمية كبيرة من الأحماض العضوية.

تنموا الأشنات نموا سريعا على مواد البناء و يتسع انتشارها على الأسطح الخارجية، وعلى الرغم من هذا فالعديد منها لا تستطيع العيش في الأجواء الملوثة.

أما الأشـنات القشـرية البيضـاء فـإن نموهـا قـد يمتـد إلى بضـع المليمترات داخـل مسـامات مـواد البنـاء ، بحيـث تعمـل على تحللهـا عـن طريق إنتاج الأحماض العضوية، البعض الآخر من الأشنات تظهر قدرة أقل على اختراق مواد البناء ببطء ، لكن تأثيرها المشوه قد يكون شديد الخطورة خاصة على الأسطح المزخرفة أو المرسوم عليها.

5.3.2- الكائنات الحية الدقيقة:

في العادة لا يمكن رؤية الكائنات الدقيقة بالعين المجردة، وإنما ترى في مستعمرات أو مجموعات، وهناك أصناف معينة من الكائنات الحية الدقيقة قد تكيفت لتتحمل درجات أكثر حدة من الرقم الهيدروجيني

PH (درجة الحموضة)، أو الجفاف، أو عدم وجود الأكسجين. ويختلف مدى درجات الحرارة والرقم الهيدروجيني الذي تكون الأصناف المختلفة فيه نشطة، وهي تفرز الأحماض العضوية التي يتم تحليلها في أكثر الكائنات الحية فعالية لتوفير طاقة أكثر.

6.3.2- الفئران:

عندما تغزو الفئران أحد المباني الأثرية، وتستوطن به فإنّها تصيبه بأضرار قد يصعب التغلب عليها، خاصّة وأنّها تتوالد بأعداد كبيرة، فالفئران تتّخذ من الشقوق الموجودة عادة بالمباني القديمة مأوى لها، وقد تحفر جحورا تمتد إلى مسافات كبيرة في الجدران أو أسفل الأساسات، الأمر الذي يؤدي إلى اختلال توازن المبنى وتصدعه، ومن ناحية أخرى فإنّ تكاثر الفئران بالمباني القديمة يحولها إلى أماكن قذرة، كريهة الرائحة.

7.3.2- الطيور:

الفعل التخريبي للطيور ذو طبيعة كيميائية وميكانيكية في نفس الوقت، الفعل الكيميائي ناتج عن فضلات هذه الطيور التي تحتوي على الآزوت العضوي، الفوسفات، الصوديوم، البوتاسيوم والكالسيوم.

درجـة الـ PH لفضـلات الطيـور يتـراوح عـادة مـا بـين 5 إلى 8، بعـض الأحماض كحمض الفوسفوريك (H_3PO_4) وحمض النيتريك (HNO_3) تتفاعـل كيميائيـا مـع الكربونـات لتشـكل الفوسـفات $(Ca_3(PO_4)_2)$ أو نيترات $(Ca(NO_3)_2)$ وتتسبّب في تآكل الحجارة[1].

8.3.2- النمل الأبيض:

يعتبر النمل الأبيض حشـرات مدمرة للمبـاني الأثريـة، فهي تحفـر أنفاقا عادة تحت الأساسات ويتسبّب بذلك في خلخلة التربة، الأمر الذي قـد يـؤدي إلى اخـتلال المبـاني، ويهـاجم النمـل الأبـيض كـذلك الأخشـاب المسـتخدمة في المبـاني ليتخـذ منهـا غـذاء لـه فيفتتهـا ويفقـدها صـلابتها وتماسـكها، وقـد يـؤدي ذلـك إلى تصـدع المبـاني إذا كانـت هـذه الأخشـاب محملة بأثقال أو تشكل عنصرا إنشائيا هاما.

3- أشكال ومظاهر تلف المواد الأثرية:

[1] - Caneva (G) , Salvadori (O) , "altération biologique de la pierre" dans: **La dégradation et la conservation de la pierre**, texte des cours internationaux de Venise sur la restauration de la pierre , publié sous la direction de Lazzarini (L) et Pieper (R), UNESCO, 1985, p.159.

الطريقة الوحيدة التي تسمح بملاحظة التدهور هي ملاحظة المواد وبذلك نقوم بإيجاد علاج لهذه العلل وذلك بدراسة الآثار الظاهرة فيها، ومن بين أشكال ومظاهر تلف المواد الأثرية ما يلي:

1.3- نقص الالتحام :

يتجلى ذلك في انفصال في مستوى المواد على شكل صفيحات أو في انتفاخ أو تقببات على السطح.

فيما يخص الجير ينصح القيام باستمرار قياس العمق بواسطة الصوت للتعرف على مدى التماسك الجيد للغطاء، ونقوم بذلك بالدق عن طريق الأصبع أو أداة ما، فإذا كان الجير متماسك بطريقة جيدة فإنّه يرجع صوت حاملة. عادة ما يرفق الانفصال بانشقاقات لذا يجب أن نقيس العمق بواسطة الصوت في كل جهة من جهات الانشقاق الملحوظ. فيما يخص الطلاء المصنوع بالجير إذا أخرج صوتا أجوفا فنقص الالتحام يلاحظ بتشكل قشور يمكن نزعها بالظفر.

2.3- فقدان الصلابة:

تقـدر الصـلابة باختبـار طبقـة الغطـاء وذلـك باسـتعمال أداة معدنيـة حـادة (مسـمار، البراغي) بخـدش السـطح. وفيمـا يخـص الطلاء المصـنوع بـالجير فالاختبـار يـتم عـن طريـق الحـك بـالظفر فيظهـر أكثر صفاءً.

3.3- التغير في المسامية:

لنقدر مدى مسامية الحامل يكفي أن نقوم بتبليله وذلك بسكب الماء على الجدار، وحساب الوقت الذي يأخذه لامتصاصه على حامل عمودي يكون ارتفاع السيلان سهل التقدير فإذا امتصت المياه بسرعة يكون الحامل إذا جد ممتص للمياه.

4.3 -وجود الانشقاقات :

تكـون الانشـقـاقات ظـاهرة للعـين المجـردة وتظهـر إمـا رقيقـة أو عريضـة، يمكـن أن تكون الوحيـدة أو على شـكل شـبكة، وتبليل الجـدار هي الوسـيلة الأفضـل لتحديـد الانشـقاقات. حيـث هنـاك الانشـقاقات المجهريـة، عـادة مـا يـتم تعيينهـا باسـتعمال الجهـاز المكبر، والانشـقاقات الصغيرة وهي فتحات متقطعة لا يتعدى اتساعها 0.2مم.

5.3- انعدام التماسك:

يلاحـظ بـالعين المجـردة ونتحقـق مـن تماسـك الجير أو الطـلاء باللمس حيث يكفي الحركة باليد لنلاحظ هذه الظاهرة حيث نحس بتدحرج حبات الجير تحت الأصبع.

6.3- التآكل:

التآكل ظاهرة تسبب تدهور الزخارف وهذا راجع إلى تأثير العوامل المناخية عند احتكاكها بسطح المواد، أي الرياح والأمطار ويتم تأثير هذه الظاهرة تدريجيا بمرور الوقت.

4- طرق صيانة وترميم المواد الأثرية:

1.4- مفهوم الصيانة:

هي مجموعـة مـن الوسـائل المـؤثرة على المـادة أو على محيطهـا وهدفها الرئيسي تأمين استمرارية الأملاك الثقافية، ولا يجب في أي حال من الأحـوال أن تتسبّب بأي ضـرر أو تـأثير على طبيعـة هـذه الأملاك أو طبيعـة المـواد التي بنيـت بهـا أو طبيعـة المعـاني التي تـوحي إليهـا، حيـث

تحافظ الصيانة على سلامة الأشياء وتقدم مساعدة تقنية للتصميم أي بناء تراث وطني يمكن دراسته وتقديمه أو تسجيله.

سبب القيام بعملية الصيانة راجع إلى ملاحظة هشاشة المواد التي صنعت الأشياء والتي لا بديل بها، ويكون التدخل في هذه الحالة إجباريا عكس الترميم، الصيانة نوعين وقائية وعلاجية.

1.1.4- الصيانة الوقائية:

هـو تـدخل غيـر مباشــر علـى المحـيط، تهـتم أساسـا بأسـباب التدهور، وطرق التثبيت والتدعيم، قصد التقليل من خطر التدهور، وهي أيضا عملية إستراتيجية، وتهتم بطرق العمل الجيد وتنظيمه، كما تهتم أيضا بالمظهر الخارجي للمجموعات.

2.1.4- الصيانة العلاجية:

هـو تـدخل مباشـر على المخلفـات الأثريـة، تـدرس نتـائج عوامـل التدهور، دون المساس بكمال التحفة لأنّ هذا الأخير هو هدفها.

2.4- مفهوم الترميم:

يهـدف الترميم إلى جعـل الأشـياء أكثر جمـالا ووضـوحا، ويكـون الشيء الـذي يتم ترميمه غير معـرّض للخطر حيث بالإمكان الاسـتغناء عن هذا التدخل دون أن يكون عرضة للزوال.

فـالترميم عبـارة عـن مجموعـة أعمـال التصليح والتجميل لما تبقى من شكل الملك الثقافي ويمكننا تشبيه الترميم بعملية تجميلية يستهدف المظهر وتتمثل في أعمالها فيما يلي:

- ملئ وسد الفراغات.
- إعادة تكوين الشكل.
- وضع اللون.

5- الأسس العامة للصيانة والترميم:

إنّ معالجـة وصـيانة مختلـف المـواد الأثريـة مهمـة جـدا، وذلـك باسـتخدام الوسـائل التقنيـة والفنيـة في المعالجـة، لأنّـه بـدون هـذه المعالجة والصيانة يندثر الأثر كليا[1].

[1]- باهرة عبد الستار القيسي، **معالجة وصيانة الآثار في الحقل**،1983، ص288.

وللنجـاح في عمليـة صـيانة وتـرميم الأملاك الثقافيـة يجـب إتبـاع منهجية مدروسة بشكل متقن، وأخذ بعض القواعد بعين الاعتبار و لتي تتمثل في النقاط التالية:

1.5- الفحص والتشخيص:

من المستحيل القيام بعملية صيانة وترميم شيء ما دون التعرف على المواد المكونة له وتقدير درجة تضرّرها، وفهم الأسباب الممكنة لهذا التضرر الملاحظ وتقدير الخطورة التي يمكن أن تلحق بالمادة إذا لم يتم صيانته[1].

فمشروع الصيانة لا يتم بملاحظة خاصيته الثقافية والتي تستلزم البحث عن معلومات أثرية لتساعدنا في فهمه. باختصار يجب أن يشمل كل تدخل فحص تشخيصي للشيء والبحث عن دلالته الثقافية[2].

---

[1]- Denis Guillemard, Claude Laroque, **manuel de conservation préventive, gestion et contrôle des collections**, 2e édition, Université Paris I, 1993, p 17.

[2] - ماري.ك، برديكو، تر: محمد أحمد الشاعر، **الحفظ في علم الآثار، الطرق والأساليب العلمية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية**، المجلد 22، القاهرة، 2002، ص07-08.

ومن المستحيل التفكير في إجراء تدخل "صيانة وترميم" على أثر، بدون معرفة مجموعة من النقاط الأساسية على المادة التي نتدخل عليها وتتمثل في:

- معرفة المواد المكونة.
- معرفة درجة التلف.
- معرفة أسباب التدهور والتلف.

2.5- تسجيل التدخلات :

من بداية الفحص إلى نهاية التدخل يجب تسجيل كل ما عمل ولوحظ في ملف يتضمن المعلومات التكنولوجية المكشوفة عليها وتقييم حاله، الحفاظ بما فيها من رسومات وصور، إضافة إلى تقرير لكل العينات والتحاليل التي أجريت ويحتوي هذا الملف على المواد المعالج بها وتبرير الاختيارات المتّخذة.

3.5- الحد الأدنى من التدخلات :

يجب العمل بطرق ومواد موافق عليها، تلك التي نستطيع تقييم أثرها الفوري وعلى المدى الطويل على المواد المشكلة والأصلية للشيء، ويجب أن نحدد ضرورة كل تدخل ونقيم درجته. فإذن يتعلق الأمر للتدخل بأدنى ما يمكن بالقيام بتبرير كل تدخل وتقييم نتائجه.

4.5- وضوح التدخلات :

يجب تفادي أو تبرير المعالجات التي تغير ما تبقى من شكل الأثر والتي لا يمكن كشفها بعد ذلك إلا بالوثائق اللاحقة وليس بالفحص المباشر للأثر، ولا يجب لهذه المعالجات تزييف الحقيقة بمحو كل آثار تاريخها المادي ويجب أن تكون نتائجها واضحة من النظرة الأولى.

5.5- احترام التدخلات :

لا يجب على التدخلات التغيير من الشكل الجوهري للمادة أو المواد المشكلة والأصلية للشيء.

6.5- انعكاس التدخلات :

يجب أن تكون كل التدخلات انعكاسية أي يجب أن نستطيع إلغاء كل ما أنجز من قبل دون أن يتأثر الشيء بأي شكل من الأشكال.

7.5- تو افق التدخلات :

يجب أن تتوافق المواد المحتكة مباشرة بالمواد الأصلية والعضوية للأثـر خاصّـة على الصـعيد الميكـانيكي والفيزيـائي والكيميـائي، وعنـد الاقتضاء على صعيد البصريات فيما يخص المواد التي تدمج في الحامل أو التي تستعمل كغطاء واقي حيث تشكل هذه المواد الأجزاء المرممة التي يجب أن تكون منسجمة[1].

8.5- الحماية الوقائية:

يجـب أن تؤخـذ بعـين الاعتبـار شـروط الحفـظ في المكـان الـذي سيوضع الشيء بعد معالجته، تسمح الصيانة الوقائية بتخفيض من درجة التدخل المباشر للشيء حيث يجب محاولة تكييف المحيط على الشيء وليس العكس[2].

6- التدخلات :

[1] - ماري.ك، بريديكو، المرجع السابق، ص09-10.

[2] - جورجيو توراكا، **تكنولوجيا المواد وصيانة المباني الأثرية**، تر: إبراهيم عطية، 2003، ص 115.

على الـرغم مـن أنّ الكثير مـن الآثـار تبـدو وكأنّهـا صـامدة أمـام عـوادي التلـف، إلّا أنّ هـذا الصـمود قـد لا يـدوم طـويلا فللـزمن اليـد الأخـرى في عوامـل الانـدثار، ولـذلك تبقـى الحاجـة الملحـة في صـيانة الممتلكـات الثقافيــة هـي إيجـاد بيئـة مسـاعدة على المحافظـة عليهـا واسـتبقاءها لأطـول مـدة معينـة. لـذلك أصبحت هـذه الضـرورة تقتضي الإجابـة الواضحة على هـذا السـؤال المطروح: **كيـف يمكـن خلـق بيئـة وتـوازن مسـاعد ومسـتقر للآثـار دون اللجـوء إلى التـأثير عليهـا وذلـك باسـتعمال تقنيات حديثة ووسـائل صناعية؟**

نميّز ثلاثـة مراحـل لعمليـة التـدخل على الآثـار والمقتنيـات الثريـة تتمثل في: التنظيف، حفظ التوازن، التدعيم.

1.6 -التنظيف:

يتمثـل مبـدأ التنظيـف في القضـاء على كل المـواد المشـوّهة التي تخفي الشيء أو تضـر بـه، أو القضـاء على كليهما في نفس الوقـت ويمكـن أن تكـون هـذه العمليـة ميكانيكيـة أو كيميائيـة، وعـادة مـا تتمثـل هـذه المواد في الأملاح القابلة للذوبان، التصلبات، الغبار، السناج، الكائنات

الحيـة كالطحالـب، الفطريـات أو الأشـنات وكـذلك فضـلات الحيوانـات والترسبات النباتية.

في بعـض الأحيـان تـؤدي عمليـة التنظيـف إلى الأضـرار، كإحـداث شـقوق وخـدوش على الأسـطح كالحجـارة مثلا، أو ينتج عنها تشـكل أملاح قابلة للذوبان.

ولتفادي جميع أنواع الأضرار التي قد تحدث للمادة الأصلية خلال التنظيف يجب التقيد ببعض الشروط وهي:

- يجب أن تكون عملية التنظيف بطيئة بما فيه الكفاية للتحكم في أدائها خاصة عند استعمال أدوات التنظيف الميكانيكي، ويكون استعمال المواد الكيميائية بأقل تركيز ممكن.
- يجب أن لا يحدث التطبيق شقوقا أو خدوشا على سطوح المواد المراد تطبيق عليها عملية التنظيف.
- يجب أن لا تؤدي العملية إلى ظهور مواد ثانوية تكون سببا في أضرار مستقبلية، كالأملاح القابلة للذوبان.

- عـدم المسـاس بالمادة الأصلية، والمحافظة على الباتينا *La patine*، وتفادي تجيد السـطح.

- اجتنـاب اسـتعمال المـواد المضـرّة بـالمواد الأثريـة، مثـل الأحمـاض خاصة القوية منها، مثل حمض الكبريتيك، واجتناب قدر المستطاع استعمال أدوات كاشطة كالفرش المعدنية والورق المزجج.

2.6- حفظ التوازن :

تهدف التدخلات لحفظ التوازن إلى توقيف العمليات المؤثرة على المادة في حد ذاتها والتي تمثل مقر التطورات الكيميائية، ويستعمل هذا المصطلح لتعيين كل الأعمال التي نقوم بها لمحاربة التشوهات الفيزيائية، الكيميائية والبيوكميائية، وتظهر هذه العملية في القضاء على الأملاح ووضع حد خاصّة لعوامل التآكل.

3.6- التقوية (التعزيز):

نعني بالتقوية كل التدخلات التي تعين على إعطاء التماسك الكافي لمادة ما لتستطيع احتمال الأخطار الميكانيكية والتي يمكن أن تتفاداها (احتمال وزنها دون الانهيار أو التفتت أو التشتت)، ويكون الهدف منها:

- إعادة تماسك المواد المتضرّرة.

- ضمان الالتحام بين الأجزاء الهشة والأجزاء السليمة.

- زيادة المقاومة الميكانيكية للمواد.

عندما تكون المواد الأثرية سهلة التلف فيتطلب تقويتها، وذلك باستعمال كل التقنيات والمواد المتعلقة بالصيانة والبناء، والتي عرفت بفعاليتها نتيجة الخبرة والتجربة. اتّفق المختصون على أنّه قبل أن يتم البدء في عمليات التقوية يجب القيام:

- تشخيص وتحليل مكونات المواد الأثرية لإدراك أسباب التلف ولمعرفة المواد التي تتجانس معها.

- يجب أن تكون المواد المقوية المتدخل بها انعكاسية ومنسجمة كيميائيا مع المواد الأثرية.

يجب على المادة المقوية أن تتغلغل بشكل جيد حتى يتم الالتحام مع طبقات المادة الداخلية والخارجية، وتتعلق ظاهرة التغلغل بعدّة عوامل منها:

- الهندسة المسامية للمواد.

- الخصائص الفيزيوكيميائية للمواد المقوية: تركيبتها الكيميائية، وزنها الجزيئي، آلية تفاعلها.

- الخصـائص الفيزيوكيميائيـة للمـذيب: تركيبتـه الكيميائيـة، كثافته، لزوجته، ضغطه السطحي.

- طريقة تطبيق المحلول المقوي، مدة التطبيق وطبيعة الشروط المحيطة أثناء القيام بالعملية.

4.6- الحماية:

تتـم عامة اللمسـة الأخيـرة لأعمـال صيانة وترميم الأملاك الثقافية بوضع غشاء يكون مانعـا للماء والهواء كما يقوم بإعادة تقديـم مظهر خـاص. وتتمثـل المـواد المسـتعملة في صـمغ الصـنوبر الاصـطناعي (مثـل البارالويد.ب.72 أو المووليت) والملمعات، ومادة الشمع.

كـل المعـالم والمواقـع الأثريـة يجـب أن تكـون محـل المحافظـة والصيانة وحماية كمالها وديمومتها، وضمان استمراريتها وإيصالها إلى الأجيال القادمة، ويكون هذا كله بتهيئتها ورد الاعتبار لها. وكل أعمال

الصيانة والترميم التي تنفذ يجب أن تكون وفق المبادئ المنصوص عليها، وبالتـالي فـإنّ تهيئـة المواقـع الأثريـة هـو مقيـاس ضـروري للصـيانة والمحافظة والحماية الدائمة للهياكل المعمارية والمباني المكتشفة خاصّة أثناء الحفريات الأثرية.

توصـي هـذه المواثيـق والهيئـات العالميـة على إلغـاء كـل أشـكال اللافتـات الإشـهارية والأعمـدة الكهربائيـة والتلغرافيـة بقـرب المواقـع والمعالم الأثرية، وكذلك المصانع الملوّثة للجو وكذا المداخن العالية.

الخـاتمـة

حاولنـا في هـذا البحـث إبـراز أهميـة دراسـة مـواد التراث، ومعرفـة مصـادرها، وتقنيـات تصـنيعها ودراسـة اسـتعمالها وتاريخهـا، بحيـث كان اهتمام الإنسـان منذ القـدم باسـتعمال مـواد مختلفـة في البنـاء، التجهيز المنزلي، وتزيين المباني والقصور.

هـذه المـواد اسـتخدمت في الحضـارات القديمـة في عمليـات البنـاء والتشـييد، اسـتعمل الجيـر والمـلاط الجيـري لـربط وحـدات الطـوب والحجـر، حيـث اسـتخدم الرومـان الجيـر بكثـرة كمـادة لاحمـة في أعمـال تشـييد القنـوات المائيـة والمبـاني الأخـرى، فكانـوا يضـيفون الرمـاد البركاني

إليـه، وذلـك لتحويـل الجير غير الهيـدروليكي إلى اسـمنت هيـدروليكي لاستخدامه كمادة لاحمة.

مـازال مجـال هـذه المـواد في تطـور إلى يومنـا هـذا، وحتى القـرن العشـرين أيـن كـان التطـور العلمي أكثر فعاليـة نـاتج عـن الأبحـاث الكيميائية لمختلف المواد، وقد كان اكتشاف ناقلية الحرارة والكهرباء، والتمدّد للمعادن في سنة 1900م، وكذلك الأشعة السينية سنة 1911م مجالا جديدا لفهم المواد، أطلق عليه اسم "فيزياء المواد الصلبة"، فقد كان هـذا العلـم بـالتوازي مع علـم الكيميـاء مجـالا هـائلا للتطـور، وفهـم التركيبة البلورية والطورية للمواد وأساس تكوينها وسرعة تحويلها. فعلم هندسـة المواد والـذي يجمع بين علم الكيمياء والفيزياء والميكانيك مكَّن مـن فهـم التـداخلات التركيبيـة لمختلـف المـواد مـن خصائصـها ومثاليـة مجال استعمالها.

إنّ الطـرق المسـتخدمة في صـيانة وتـرميم المـواد تعـرف جـدلا مسـتمرا بين المدارس المختلفـة، فهنـاك من المرممين من يفضـل إعـادة المادة الأثرية إلى الحالة التي كانت عليها في المرة الأولى، بحيث يستعمل نفس المواد أو مواد ملائمة في ترميمها مع إعطائها مظهر الأصلية سواء من حيث اللـون أو الشـكل، أمـا البعض الآخـر من المرممين فيكتفـون

بصيانة المقتنيات كما تم العثور عليها دون أي إضافات، وعند القيام بعمليات الترميم المختلفة يجب الاهتمام بالعديد من الجوانب، إذ أثناء الترميم يجب الأخذ بعين الاعتبار خصائص ومكونات المادة، والظروف الطبيعية التي يتواجد فيها الأثر.

قائمة المصادروالمراجع

أولا: باللغة العربية:

- ابن خلدون، عبد الرحمان، **المقدمة**، دار الجيل، بيروت، د.ت. ن.

- الغنيم، عبد اللطيف يوسف، **الموسوعة الجيولوجية**، ط1، ج3، 1998م.

- المنظمــة العربيــة للتربيــة والثقافــة والعلــوم، **صــيانة التــراث الحضاري**، تونس، 1990م.

- المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، **خواص واختبارات المواد**، المملكة العربية السعودية.

- شـريفة أصفصـاف، مسـعود حميـان، **محاولـة لدراسـة خصـائص تلف ضريح إمدغاسن بباتنة من أجل صيانة وترميم تقني**، رسالة ماجسـتير في الصـيانة والترميم، معهـد الآثـار، جامعـة الجزائـر، الجزائر، 2010م.

- باشـا (سـعد حسـن صـالح)، **الجيولوجيـا العامـة والبيئـة**، الطبعـة الثانية، دار زهران للنشر والتوزيع، الأردن، 1996م.

- بـاهرة عبـد السـتار القيسـي، **معالجـة وصـيانة الآثـار في الحقـل**، 1983م.

- بيشـار (بيير)، **الآثـار والـزلازل : إجـراءات الطـوارئ وتقـدير الأضـرار بعـد الزلـزال**، ترجمـة : غالـب (علي) ، النشـوقاتي (هبـه)، مراجعـة : بكر (محمد إبراهيم)، مطبعة هيئة الآثار المصرية، مصر، 1992 م.

- ج. فوستر، روبرت، **الجيولوجيا العامة**، القسم الأول، 1989م.

- جورجيـو توراكا، **تكنولوجيـا المـواد وصـيانة المبـاني الأثريـة**، تـر: إبراهيم عطية، 2003.

- حسين سيد أحمد أبو العينين، **أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض**، ط6، 1981م.

- خالـد غنيم، بيرخينيـا باخـه ديل بوثـو، **علـم الآثـاروصـيانة الأدوات والمو اقـع الأثريـة وترميمهـا**، الطبعـة الأولى، بيسـان للنشـر والتوزيـع والإعلام ، لبنان، 2002م.

- خالد غنيم، **علم الآثاروصيانة الأدوات والمو اقع الأثرية وترميمها**، ط1، 2002م

- خلـومي، محمد ماجـد عبـاس، **اسـتطلاع المو اقـع و أبحـاث التربـة والأساسات**، ط5، 1991م.

- مـاري. ك، برديكـو، **الحفـظ في علـم الآثـار: الطـرق والأسـاليب العلمية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية**، 2002م.

- خليل إبراهيم واكد، **أسباب انهيار المباني: طرق الترميم والصيانة**، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 1996.

- ديـوان حمايـة وادي مـزاب وترقيتـه، **دليـل أشـغال الترميم**، وزارة الثقافة، غرداية، الجزائر، 2006م.

- سـعد حسـن صـالح باشـا، **الجيولوجيـا العامـة والبيئـة**، الطبعـة الثانية، دار زهران للنشر والتوزيع، الأردن، 1996م.

- صـليب مرفـت ثابـت، **تـأثير الميـاه الجوفيـة على المبـاني الأثريـة** ، الطبعة الأولى، الدار العالمية للنشر والتوزيع، الجيزة، 2008 م.

- عبد الرحمن سعد، زغلول، **العمارة و الفنون في دولة الإسلام**، دار المعارف، الإسكندرية، مصر، 1986م.

- محمد راتب عطاس، مسعود أندرواس، مواد البناء واختباراتها، ديوان المطبوعات الجامعية، بن عكنون، الجزائر، 1992م.

- عبد المعز، شاهين، **طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الأثرية**، مطابع الهيأة المصرية العامة للكتاب، مصر، 1994.

- عيساوي بوعكاز، مسعود حميان، **طرق حفظ وصيانة مواد بناء الموقع الأثري جميلة "كويكول"، حالة الحجارة الكلسية**، رسالة ماجستير في الصيانة والترميم، معهد الآثار، جامعة الجزائر، 2009م.

- عزت زكي حامد قـادوس، **عـلم الحفائر وفن المتاحف**، الإسكندرية، 2005م.

- غنـيم (خالـد)، بيرخينيـا (باخـه ديـل بوثـو) ، **علـم الآثـار وصـيانة الأدوات والمو اقـع الأثرية وترميمهـا**، تعريب غنيم (خالد)، الطبعة الأولى، بيسان للنشر والتوزيع والإعلام، لبنان، 2002م.

- فاهمة شـابلي، مسـعود حميـان، **دراسـة خصـائص الملاط الأثـري وتشـكيل تركيبـة جديـدة للترميم، بـرج حمـزة أنموذجـا**، مـذكرة الماجستير، علم الآثار صيانة وترميم، معهد الآثار، جامعة الجزائر 02، الجزائر، 2011م.

- كرونين (ج.أم) ، روبنسـون (و.س.) ، **أسـاسـيات ترميم الآثـار**، ترجمة الزهراني (عبـد الناصـر بـن عبـد الـرحمن)، جامعـة الملـك سـعود للنشر، المملكة العربية السعودية، 2006 م.

- مـاري. ك، بريديكو، تر: محمد أحمـد الشـاعر،**الحفـظ في علـم الآثـار، الطـرق والأســاليب العلميــة لحفـظ وتـرميم المقتنيـات الأثريـة**، المجلد 22، القاهرة، 2002.

- محمد (عبد الهادي محمد)، **مبادئ ترميم وصيانة الآثار غير العضوية**، مكتبة نهضة الشرق بجامعة القاهرة، القاهرة، 1996 م.

- محمد عبد الغني مشرف، **تطبيقات في الجيولوجيا العامة (معادن، صخور، أحافير، خرائط)**، ط2، 2002م.

- محمد عبد الهادي محمد، **مبادئ ترميم و صيانة الآثار غير العضوية**، مكتبة نهضة الشرق بجامعة القاهرة، القاهرة، 1996 م.

- محمد ماجد عباس خلومي، **استطلاع المواقع و أبحاث التربة والأساسات**، ط5، دار النهضة العربية، 1991م.

- معطي ميخائيل، **الستراتيغرافيا أو الجيولوجيا الطبقية**، القسم النظري، 1977م.

- معهد سيراكون وآخرون، **مجلة كان التاريخية**، العدد السادس، 2009م.

- نقاش ، نقولا ، **الآجر**، دار المعارف، المجلد الأول، بيروت، 1956م.

- نقولا نقاش، **الآجر**، دار المعارف، المجلد الأول، بيروت، 1956م.

- هـزار، عمـران، جـورج، دبـورة، **المبـاني الأثريـة: ترميمهـا-صـيانتها و الحفاظ عليها**، دمشق، 1997م.

- هـزاز عمـران، جـورج ديبـورة، **المبـاني الأثريـة، صـيانتها وترميمهـا والحفاظ عليها**، 1997م.

- يوسف الخوري، **موجز البتروغرافيا أو علم الصخور**، 1977م.

ثانيا: باللغة الأجنبية:

- Adam (J.P), **La construction romaine, matériaux et technique**, 3ème édition, Paris, 1995.

- Anwar Matar, **Al-wafer dictionnaire, Français-Français**, Dar el-fikr, Beyrouth, Liban.

- Cailleux André, **les roches,** Ed. 7, 1974.

- Caneva (G) , Salvadori (O) , "altération biologique de la pierre" dans: **La dégradation et la conservation de la pierre** , texte des cours internationaux de Venise sur la restauration de la pierre , publié sous la direction de Lazzarini (L) et Pieper (R), UNESCO, 1985.

- Caneva (G) , Salvadori (O) , "**altération biologique de la pierre**" dans: **La dégradation et la conservation de la pierre** , texte des cours internationaux de Venise sur la restauration de la pierre , publié sous la direction de Lazzarini (L) et Pieper (R), UNESCO, 1985.

- Cédrie Avenier, Bruno Rosier, Denis Sommain, **Ciment naturel**, Italie. 2007, dans : www.international.icomos.org

- Centre d'assistance technique et de documentation (CATED), **Les pierres de France, pierre calcaire, roche granit, grés**, Paris . 1980.

- Denis Guillemard, Claude Laroque, **manuel de conservation préventive, gestion et contrôle des collections**, 2e édition, Université Paris I, 1993.

- Duriez. M, Arambide. J, **nouveau traité des matériaux de construction : Gramulats- ciments – Bitons constitution et technique générales d'emploi**, Tome1, 2ème édition, 1961.

- Ecole D'Avignon, **techniques et pratique de la chaux,8emEd Eyrolle**, tirage Paris, 1995.

- - Frédéric Davidovits, **Les mortiers de pouzzolane artificiels chez Vitruve, évolution et historique architecturale**, France, 1995.
– Jaques Baron, Raymond Sautery, **Le beton hydtaulique, connaissance et pratique**, presse de l'école nationale des Ponts et chaussées, France ; Paris, 1995.

- Froidveaux (Y.M)**, technique de l'architecture ancienne : conservation et restauration**, Edition 3, 1985.

- Ghomari Fouad, **science des matériaux de construction**, département de génie civil, faculté des sciences de l'ingénier, université Aboubekr Belkaid, Alger.

- Giorgio Torraca, **Matériaux de construction poreux, science des matériaux pour la conservation architecturale**, ICCROM, Rome, 1986.

- Giorgio Torraca," **l'état actuel des connaissances sur les altérations des pierres : causes et méthodes de traitement**", dans: **matériaux et constructions** , vol.7, N 42, 1974.

- Golvin (L), **Essai sur l'architecture religieux musulmane , Hispano-Musulmane,** Edition :Klinek sieck, T O4, Paris, 1979.

- Hamel, Aïcha, **étude géologique des grés triasique du gisement pertrolien de Hassi Rmel (Algérie),** 2005.

- http//crsc.umbb.dz [e-Learning], **Cours conservation et restauration des matériaux archéologiques**, 2010.

- IANOR, NA12, **Chaux de construction : définition, spécification et critères de conformité**, Ed1, 2006.

- Icomos (I), **La chaux et les mortiers, natures, propriétés, traitements**, Paris, 1995.

- ICOMOS, Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre, France, 2008.

- ICOMOS, Glossaire illustré sur : **les formes d'altération de la pierre,** France, 2008. dans **: www.international.icomos.org**

- ICOMOS, **La chaux et les mortiers, natures, propriétés, traitements**, Paris, 1995.

- Jean (S) Hamilius, **chaux de construction, commission permanent de normalisation des**

matériaux de construction, le ministre des travaux public, Luxembourg, 1975.

- Jean-Pierre Adam, **La construction romaine, matériaux et techniques**, 3em édition, France, 1995.
- Lazarmi Lorenzo, **La dégradation et la conservation de la forre,** UNESCO, N° 16, 1987.
- Maurice, Mumenthaler, **Technologie des enduits traditionnels de façade**, Bruxelles.
- Meziane Abdallah, él**aboration d'un réfractaire sur la base d'un grésquartyeux et caractérisation,** thèse de Doctorat d'état, 2005.
- Pomerol Charoles, **Fonet Robert, Les roches sédimentaires,** Ed. 6, 1974.
- S.Jean Hamilius, **chaux de construction, commission permanent de normalisation des matériaux.**
- Sauvaget (J), **Introduction a l'étude de la céramique musulmane** ; Paris , 1966.
- Service départemental de l'architecture et de patrimoine du Bas Rhim**, L'enduit trois couches**, Strasbourg, Cédrie Avenier, Bruno Rosier, Denis Sommain, **Ciment naturel**, Italie. 2007.

- Stiti Abdenour, Messalit Mohamed, **usage de la chaux dans les vieux Batis » le cas de la cinquième batterie de la citadelle d'Alger** », Mémoire de fin d'études 2004.

- Torraca (G) ," **l'état actuel des connaissances sur les altérations des pierres** : causes et méthodes de traitement", dans: **matériaux et constructions** , vol.7, N 42, 1974.

- Yakoub, Boussad, **Cours de géologie**, 1994.

- Sauvaget, (J), **Introduction a l'étude de la céramique musulmane** ; Paris , 1966.

فهرس المحتويات

المختصرات 3

مقـدمة:..... 4

المحور الأول: عموميات حول الصخور 8

1- تعريف الصخور: 9

2- طبيعة وتصنيف الصخور:..... 10

1.2- الصخور النارية: 11

أ. الغرانيت: 13

ب. البازلت:..... 15

2.2- الصخور المتحولة:..... 15

أ. الرخام: 16

ب. الكوارتزيت: 19

3.2- الصخور الرسوبية: 20

3- أنواع الصخور الرسوبية ***Sédimentaires***: 20

1.3- صخـوررسـوبية ذات نشـأة كيميائية *Les Roches d'origine chimique*:..... 21

2.3- صخـوررسـوبية ذات نشـأة عضـوية *Les Roches d'origine biologique*: 21

3.3. صخـوررسـوبية ذات نشـأة ميكانيكية *Les Roches d'origine détritique*:..... 22

المحـورالثـاني: الحجـارة الرمليـة 24

1- تعريف الحجارة الرملية:..... 25

2- تصنيف الحجارة الرملية و أنواعها:..... 26

أ. الحجر الرملي التر ابي:..... 27

ب. الحجر الرملي الجيري:..... 27

ج. الحجر الرملي البركاني:..... 28

3- نسيج الحجارة الرملية:..... 29

4- التركيبة الفلزية للحجارة الرملية:..... 30

5- وجود الحجارة الرملية (بيئات الترسيب):..... 30

6- تاريخ استعمال الحجارة الرملية و مجالات استخدامها: 32

7- استخراج الحجارة الرملية: 34

8- خصائص الصخور الحجارة: 35

1.8- القساوة (الصلابة): 35

2.8- الكتلة الحجمية: 36

3.8- المقاومة والضغط:..... 37

4.8- المسامية (النفاذية): 38

المحور الثالث: الحجارة الكلسية (الجيرية) وطرق تشكيلها. 39

1- تعريف الحجارة الكلسية: 40

2- طرق تشكيل الحجارة الكلسية: 41

3- البيئات الرسوبية للحجارة الكلسية (أماكن تواجدها): 43

4- استخراج الحجارة الكلسية:..... 44

5- أنواع وتقسيم الأحجار الكلسية: 45

6- خصائص الحجارة الكلسية: 46

7- تاريخ استعمال الحجارة الكلسية ومجال استخداماتها: 48

المحور الرابع: الجيــر وطـرق تصنيعــه 51

1- تعريف الجير:..... 52

2- لمحة تاريخية حول الجير:..... 52

3 -المواد الأولية وطرق تصنيع أنواع الجير:..... 55

1.3- المادة الأولية: 55

2.3-استخراج الصخور الكلسية: 57

3.3- السحق والغربلة والتعيير:..... 57

4.3- عملية التكليس (الحرق):..... 58

5.3- أنواع أفران الحرق (التكليس):..... 58

6.3- الإطفـــاء:..... 59

4- الأنواع المختلفة للجير: 61

1.4- الجير الهوائي:..... 61

2.4- الجير المائي الطبيعي *NHL* : 62

3.4- الجير المائي الاصطناعي: 62

4.4- جير المغنيزيوم:..... 63

5- خصائص الجير: 63

1.5- مركبات الجير: 63

أ- التركيبة الكيميائية: 63

ب-التركيبة المعدنية: 64

2.5-الخصائص الفيزيائية: 64

أ- مؤشر البياض: 64

ب- المساحة الخصوصية: 64

ج- الكتلة الحجمية: 65

د- التقلص (*Retrait*) : 65

3.5- الخصائص الميكانيكية: 66

أ- مقاومة الضغط: 66

ب- مقاومة الحرارة: 66

4.5- الخصائص الكيميائية: 66

6- استعمالات الجير: 67

أ- الجير في البناء: 67

ب- الجير في الديكور والزخرفة: 68

ج- استعمال الجير في الترميم:..... 68

المحور الخامس: الملاط والطلاء الجيري 69

1- مكونات الملاط :..... 71

1.1- الجير: 71

2.1- المواد الداخلة في الملاط وتصنيفها :..... 72

1.2.1- الرمل:..... 72

أ- خصائص الرمل: 73

ب- اختيار الرمل الملائم للبناء : 73

ج- دور المواد الداخلة في تكوين الملاط :..... 74

2.2.1- الماء والملاط:..... 74

3.2.1- المواد المساعدة الداخلة في تركيب الملاط، وتصنيفها: ... 75

2- أنواع الملاط: 77

1.2- ملاط الوضع والأساسات: 77

2.2- ملاط الربط:..... 79

3- الطلاء و أنواعه: 80

1.3- الطبقة الأولى *Le gobetis*:..... 81

2.3- الطبقة الثانية *Le Corp d'enduit*: 81

3.3- الطبقة الثالثة *La finition*:..... 81

المحـور السـادس: الآجـر الأثـري..... 82

1- تعريف الآجر: 83

2- مراحل تصنيع الآجر:..... 85

أ- الاستخراج أو تحضير المادة الأولية:..... 86

ب- التشكيل والقولبة:..... 87

ج- التجفيف: 87

د- الحرق والتبريد: 88

3- خصائص الآجر: 89

المحور السابع: عـوامـل التلـف، مظاهرها وطرق الصيانة والترميم للمـواد الأثريـة 90

1- عوامل التلف الداخلية:..... 92

1.1- التغير في التركيب المعدني والكيميائي: 93

2.1- الإجهادات الداخلية: 94

2- عوامل التلف الخارجية:..... 95

1.2- العوامل الفيزيوكيميائية:..... 95

1.1.2- الأملاح: 95

2.1.2- درجة الحرارة: 96

3.1.2- الأحماض:..... 98

4.1.2- التلوث البيئي: 98

5.1.2- التغير في معدلات الرطوبة: 100

6.1.2- الأمطار والثلوج: 101

2.2- العوامل الميكانيكية: 102

1.2.2- الاهتـزازات:..... 102

2.2.2- الـزلازل : 103

3.2.2- الرياح والعواصف: 104

4.2.2- الإتلاف البشري: 104

3.2- العوامل البيولوجية :..... 106

1.3.2- النباتات:..... 107

2.3.2- البكتيريا: 107

3.3.2- الطحـالب:..... 108

4.3.2- الأشنات أو الحزازات :..... 108

5.3.2- الكائنات الحية الدقيقة: 109

6.3.2- الفئران:..... 110

7.3.2- الطيـور: 110

8.3.2- النمل الأبيض:..... 111

3- أشكال ومظاهر تلف المواد الأثرية: 111

1.3- نقص الالتحام :..... 112

2.3- فقدان الصلابة:..... 112

3.3- التغير في المسامية:..... 113

4.3 -وجود الانشقاقات : 113

5.3- انعدام التماسك: 114

6.3- التآكل: 114

4- طرق صيانة وترميم المواد الأثرية:..... 114

1.4- مفهوم الصيانة: 114

1.1.4- الصيانة الوقائية:..... 115

2.1.4- الصيانة العلاجية: 115

2.4- مفهوم الترميم:..... 115

5- الأسس العامة للصيانة والترميم: 116

1.5- الفحص والتشخيص: 117

2.5- تسجيل التدخلات :..... 118

3.5- الحد الأدنى من التدخلات : 118

4.5- وضوح التدخلات : 119

5.5- احترام التدخلات : 119

6.5- انعكاس التدخلات : 119

7.5- تو افق التدخلات :..... 120

8.5- الحماية الوقائية: 120

6- التدخلات : 120

1.6 -التنظيف: 121

2.6- حفظ التوازن : 123

3.6- التقوية (التعزيز): 123

4.6- الحماية: 125

الخـاتمـة 126

قائمة المصادروالمراجع 129

فهرس المحتويات..... 141