

التركيب الكيميائي للمواد الأثرية

Chemical Composition of the Archaeological Materials Composition

٢,١ طبيعة المواد الأثرية Nature of the Archaeological Materials

تنقسم المواد الأثرية حسب طبيعتها التكوينية إلى مواد أثرية غير عضوية، ومواد أثرية عضوية، ومواد تجمع بين المواد العضوية والمواد غير العضوية.

١- المواد الأثرية غير العضوية Non-organic archaeological materials

(أ) المواد الأثرية السيليكاتية Silica archaeological materials

وتشمل المواد ذات الأصل السيليكاتي أو الصخري ومن أمثلتها: الأحجار، والفخار، والسيراميك، والزجاج.

(ب) المواد الفلزية أو المعدنية Metallic archaeological materials

وتشمل الفلزات المعدنية بأنواعها. وتنقسم بدورها إلى معادن أو فلزات حديدية Ferrous metals، وهي المعادن التي يشكل فلز الحديد المكون الرئيس لها، والفلزات أو المعادن غير الحديدية Non-Ferrous، وهي المعادن التي تصنع من فلزات أخرى غير الحديد، مثل: الفضة، والنحاس، والرصاص، والقصدير وغيرها. وتتميز هذه المواد الفلزية بمجموعة من الخواص أهمها:

- أن معظمها مواد غير مسامية.

- أنها تتميز بقوتها الميكانيكية العالية، وبالتالي فهي تتحمل ما تتعرض له من ضغوط، ولا تتعرض للتفتت أو الكسر إلا في الظروف القاسية ونتيجة التعرض للضغوط والأحمال الشديدة.
- لا تتعرض للحرق وإنما تنصهر عند درجة عالية من الحرارة، وهي الدرجة التي يتحول فيها الفلز من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة في صورة مصهور معدني أو محلول صلد، وتعرف بدرجة الإنصهار Melting point.

٢- المواد الأثرية العضوية Organic archaeological materials

وتشمل هذه النوعية من المواد الأثرية المواد النباتية، مثل: الورق، والمنسوجات، والأخشاب، واللوحات الزيتية، والمواد الأثروبولوجية، والأحيرة تشمل مخلفات الإنسان أو الحيوان مثل: العظم، والعاج والجلد، والريش، والفرو وغيرها.

وتتميز هذه المواد بمجموعة من الخواص منها:

- أنها المسامية، بمعنى احتوائها على مسام في خلاياها أو مكوناتها أو مكوناتها.
- قوتها الميكانيكية الضعيفة، فهي عرضة للتمزق والتشوه، والهشاشة، أو التفتت.
- قابلة للاحتراق إذا ما تعرضت لدرجة حرارة عالية.
- ذات حساسية عالية للضوء.
- ذات خاصية هيجروسكوبية (متمياً Hygroscopic)؛ أي أنها إما تمتص الماء أو بخار الماء أو تتخلى عنه وفقاً للرطوبة النسبية Relative humidity الموجودة في البيئة المحيطة بها. ففي حالة وجود الماء وارتفاع معدل الرطوبة في الوسط المحيط بنجدها تمتص الماء من الوسط وتنتفخ أو تتمدد. وإذا كان الوسط جافاً فإنها تفقد ما بها من ماء أو رطوبة وقد تتعرض للتشقق، أو الهشاشة، أو الالتواء، أو التفتت، والخاصية الأخيرة لها دروها البارز في تفسير ميكانيكية تلف كثير من هذه المواد. كما أنها يمكن أن تشجع على نمو الكائنات الحية الدقيقة عليها في حالة الرطوبة النسبية العالية (أكثر من ٦٥٪) مع قلة التهوية، وهو ما يعرضها للتحلل السريع (بوثنو، ٢٠٠٢م: ٤٣-٤٣).

٣- المواد الأثرية المختلطة **The archaeological composite materials**

وهي المواد التي تجمع بين المواد العضوية وغير العضوية فتمثل الآثار التي يدخل في تركيبها البنائي مواد عضوية ومواد غير عضوية، ومن أمثلتها: التوابيت الخشبية المغطاة بطبقة من الجص، والخشب المطعم، والشبائيك الجصية، والألياف المعدنية النسجية، والسيوف والخناجر ذات المقابض الخشبية والنصل المعدني، واللوحات الزيتية لاستخدام مواد غير عضوية فيها مثل طبقة التحضير وكثير من المواد الملونة... وغيرها.

١,١,٢ التركيب الكيميائي للمواد الأثرية السيليكاتية

Chemical Composition of the Silicate Archaeological Materials

تمثل المعادن المكون الأساس للمواد الأثرية السيليكاتية، وتتألف المعادن من بللورات تتكون من تجمع للذرات، هذه البلورات عند تجمعها تشكل الحبيبات المكونة للمعدن. ويمكن تعريف البلورة Crystal بأنها عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة (جميل وعجاج، ١٩٩٨ م: ٦٦). والأسطح المستوية تعرف باسم أوجه البلورات Crystals faces. والأوجه البلورية في الحقيقة هي انعكاس وإظهار للترتيب الذري الداخلي للمادة المتبلورة. والعملية التي تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور وهي عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو برد مصهور ببطء، أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة.

وتتنظم ذرات المادة المتبلورة وأيوناتها في نظام محكم ومميز لهذه المادة. أما إذا تكونت المادة من ذرات وحزيمات متشابكة مع بعضها بغير نظام فالمادة تكون غير متبلورة Non-crystalline (Amorphous)، وليس لها شكل بلوري، وبالتالي نجد تركيبها الكيميائي غير ثابت (حلمي، ١٩٩٤ م: ١٢). والمعادن غير المتبلورة في المملكة المعدنية قليلة والزجاج من هذه المواد، وتعد استثناءً وليس قاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفي للمعدن، الذي يتضمن أن المعدن مادة متبلورة. ولأن ذرات المعدن المذاب تبدأ في التجمع والارتباط مع بعضها لتكون حلية للبلورية عند نقطة

التجمد، فإن مجموعات من الذرات تكوّن بللورات دقيقة. هذه البللورات الدقيقة تزيد في الحجم مع الإضافة المستمرة للذرات لتكوّن مجموعات من الذرات. والمادة الصلبة الناتجة ليست بللورة واحدة بل بللورات أصغر عديدة عند ارتباط بعضها ببعض تسمى بالحبيبات. وهذه الحبيبات أحياناً ما تكون كبيرة بدرجة تكفي لرؤيتها تحت ميكروسكوب ضوئي عادي، أو حتى بالعين المجردة.

قد يكون المعدن في صورة خالصة كما هو الحال في الفلزات المعدنية الخالصة، وقد يكون في صورة مركبات، مثل: الأكاسيد، والكبريتات، والكبريتيدات، والكربونات، والسليكات، والفوسفات، والهاليدات. ومن أمثلة المواد السيليكونية المكونة للمواد الأثرية: الاحجار، والفخار، والزجاج.

أولاً: الأحجار Stones

تُقطع الأحجار من الصخور التي عادة ما تكون صلبة، وثابتة كيميائياً أو خاملة إلى حد ما، وتمتص بدرجة متباينة من المسامية، فهناك أحجار تتسم بالمسامية العالية، وأخرى بمسامية منخفضة، وثالثة لا تحتوي على مسام. والمعادن هي المكوّن الأساس للصخور والأحجار، فالصخر جيولوجياً هو تجمع طبيعي للمعادن، ويعدّ الصخر الوحدة الأساسية في بناء الأرض، أما المعدن فهو وحدة الصخر نفسه. وتختلف الصخور عن بعضها البعض من حيث أنواع المعادن المكونة لها وعلاقة هذه المعادن ببعضها البعض في الصخر الواحد. وقد يتكون الحجر من معدن واحد أو من أكثر من معدن، والمعادن المكونة للصخور في القشرة الأرضية عددها قليل قد يصل إلى عشرين معدناً. وقد يتكون الصخر من مواد مفككة وغير متماسكة، مثل: الرمل والحصى، وقد يتكون من وحدات متماسكة تماماً فيكون شديد الصلادة، مثل: الجرانيت والبازلت. وتصنف الصخور حسب تكوينها الجيولوجي، الذي يعطي فكرة عن خواصها واستقراريتها ومساميتها، إلى:

أ) صخور نارية Igneous rocks

وهي التي تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة، مما ينتج شبكات مكثفة من البللورات، ذات مقاومة مرتفعة ضد عوامل التعرية حيث إنها خاملة نسبياً. وأهم المعادن المكونة لهذه الصخور هي الكوارتز

(ثاني أكسيد السيليكون SiO_2) والفلسبار (سيليكات الألومنيوم المعقدة)، والهورنبلند (سيليكات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد)، والمايكا (مجموعة من معادن السيليكات أهمها البيوتيت والمسكوفيت^{*}، وجميعها تعدّ صلدة عدا الأخيرة (المايكا) التي يسهل فصل طبقاتها بصورة موازية لقاعدة بللوراتها. وهذه الصخور تتوفر في صورة صخر نقي، مثل: الأحجار الكريمة، ومن أمثلتها: الجمشيت أو الياقوت وهو حجر من أحجار الكوارتز البللوري (SiO_2)، أو في مخاليط البللورات المتشابكة مثل الجرانيت والبازلت، وإذا ما بردت المادة المنصهرة بسرعة قد يتكون الزجاج الصخري من نوعية الأوبسيديان Obsidian وهو صخر زجاجي متماسك عديم المسام، أو حجر الخفاف (يعرف باسم البيوميس Pumice).

ولقد استخدمت هذه النوعية من الصخور في بعض العناصر المعمارية في المباني الأثرية، وفي أعمال نحتية عديدة. وتتميز بتماسكها العالي، وقلة امتصاصها للماء، ومقاومتها الجيدة للتلف. غير أنها تتعرض للتقادم البطيء نتيجة لتجوية سيليكات الألومنيوم بصورة رئيسة ونتيجة التغيرات العنيفة في درجات الحرارة، التي تؤدي إلى فقد بعض العناصر من الصخر والانفصال الحبيبي له، والطبقة السطحية فيها هي التي تعاني من هذه الظاهرة. ويعدّ التركيب المعدني هو المسؤول عن هذا التقادم، فالصخور التي تحتوي على نسبة عالية من الفلسبار تتلف بصورة أسرع من الصخور التي لا تحتوي عليه. والصخور التي تحتوي على الفلسبار والمايكا تتلف أسرع من تلك التي لا تحتوي على المايكا Mica. وبالنسبة للمايكا، فإن الصخور التي تحتوي على المايكا من نوع البيوتيت تتلف أسرع من تلك التي تحتوي على المسكوفيت (6: Domasłowski, 2003).

ب) صخور رسوبية Sedimentary rocks

تتكون هذه النوعية من الصخور من المعادن الفردية وتتكون من حبيبات معادن فردية، أو بقايا الفتات الصخري من صخور سابقة نقلت وترسبت بواسطة الضغط والربط للرواسب. وتحدث عملية التماسك أو الترابط إما بترسيب مواد لاحمة بين حبيبات الرواسب الخشنة (مثل أكسيد الحديد والسيليكا وكربونات الكالسيوم)، أو تماسك الرواسب بفعل ضغط الرواسب العليا على ما

* التركيب الكيميائي للمسكوفيت: $\text{KAl}_2(\text{OH},\text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$

تحتها من رواسب حيث يتم خروج الماء الموجود بين حبيبات الرواسب فتتصلب وتكون صخوراً رسوبية، ومن ثم فهي أقل كثافة من الصخور النارية (كروين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ١٥٤). ومن أهم الصخور الرسوبية التي يشيع وجودها في مجال الآثار:

الحجر الرملي Sandstone، يتكون من كوارتز وفلسبار ملتحمين بواسطة السيليكات، والكربونات، وأكاسيد الحديد. فإذا كانت السيليكات أو الكالسيوم هما المادة اللاصقة كان لون الحجر فاتحاً: أبيض أو أصفر خفيفاً أو رمادياً، أما إذا كانت من أكاسيد الحديد (الهيماتيت أو الجوثيت) فيكون لون الحجر أحمر أو بنياً يميل إلى الاحمرار، وإذا كثرت الماجنتيت في الصخر فإنه يأخذ اللون الأسود. وعندما يتعرض هذا الصخر للكسر فإن الكسر يحدث في المادة اللاصقة لا في الحبيبات.

الحجر الجيري Lime stone، يحتوي على كميات متفاوتة من الكالسيوم النقي (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) أو الدوليت (كربونات الكالسيوم والماغنسيوم $CaMg(CO_3)_2$)، وعندما يحتوي الحجر الجيري على أكثر من (١٠٪) من الدولوميت يسمى بالحجر الجيري الدولوميتي. كما يحتوي كميات متفاوتة من السيليكات (ثاني أكسيد السيليكون SiO_2) في صورة شوائب، وقد يحتوي على بقايا الأصداف والهياكل والعظام وأسنان الأسماك، لكن الشوائب مثل الطمي والرمل وأكاسيد الحديد تجعله يتلون بألوان مختلفة. والصخور الطينية تتكون من فلسبار متحلل، وإذا ما تعرضت للماء فإنه يتحلل حبيباتها ويجعلها لدنة.

وتتنوع خواص هذه النوعية من الصخور وتختلف من صخر لآخر اعتماداً على كل من التركيب المعدني، والتركيب البللوري والحبيبي، والنسيج الصخري له، وقوة تماسكها، ومثانة المادة اللاصقة لحبيباتها ونوعية هذه المادة (متبلورة أم غير متبلورة)، وكذلك المواد التي قد تختلط بمكوناتها مثل الفلسبار والجلالكونيت. فمقاومة الأحجار الرملية الكوارتزيتية يعتمد بصورة رئيسة على نوع المادة اللاصقة أو الرابطة لحبيبات الكوارتز، وكميتها، والمسامية والقدرة على امتصاص الماء. والأحجار الرملية ذات المسامية المنخفضة وامتصاص الماء المنخفض والتي تحتوي على مادة لاصقة متبلورة تكون أكثر مقاومة. وتقدمها يحدث فقط نتيجة التغيرات في درجات الحرارة والتغيرات التي

تعرض لها المادة اللاصقة (مثل: التفكك، والتحلل الكيميائي). وعادة ما تؤثر العوامل المتلفة على الطبقة السطحية والطبقات تحت السطحية منه.

وكما في حالة الحجر الرملي، تعتمد مقاومة الحجر الجيري للظروف الفيزيائية والكيميائية على تركيبه المعدني الذي يعتمد بدوره على تركيبه الكيميائي، وتوزيع حبيباته، ونسيجه الصخري. وتتنوع هذه المقاومة في هذه النوعية من الأحجار اعتماداً على هذه الخواص إلا أنها عادة ما تكون أقل منها في حالة الأحجار الرملية السيليكية أو مادتها اللاصقة لحبيباتها من السيليكات، كما في حالة الأحجار الجيرية التي يطلق عليها الأحجار الجيرية الخفيفة Light Limestone، والتي تتميز بمساميتها العالية، وقلة تماسكها، وقدرتها العالية على امتصاص الماء. بينما الأحجار الجيرية الصخرية الصلبة والمتماسكة وخاصة السيليكية منها فإنها تكون أيضاً ذات مقاومة عالية وذات درجة امتصاص للماء منخفضة.

وتمثل المكونات المعدنية للأحجار الجيرية، مثل: معادن الطفلة، ومركبات الحديد، والماجنيزيت، والكوارتز، والمكونات العضوية وغير العضوية الأخرى، جميعها يمثل مفتاح مقاومة الأحجار الجيرية للظروف الجوية والكيميائية المتلفة. ومن بين هذه المواد تعدّ كربونات الماغنسيوم مما يحسّن من استدامة الصخور الجيرية، وعلى النقيض من ذلك، فإن وجود مركبات مثل: المواد اللاصقة الطينية، أو فتات لمعادن مثل المايكا والكوارتز أو احتواءها على الطران، تؤثر بشكل غير مقبول في مقاومة هذه الأحجار للظروف المتلفة، فهي تقلل من تماسكها، وتقلل من مقاومتها الميكانيكية وتزيد من مساميتها وهجرومكوبيتها (8: Domasłowski, 2003). والأحجار الجيرية الصلبة والمتماسكة وذات السطح الأملس عادة ما يكون تأثيرها بعوامل التلف تآثراً سطحياً، بينما في الصخور الجيرية الخفيفة غير المتماسكة يمتد التلف إلى الطبقات الداخلية للحجر مسبباً حدوث شروخ وهشاشة أو تفتت كامل للحجر.

ج (الصخور المتحولة Metamorphic rocks

هي صخور تعرضت لعملية تحول تغير بموجبها الصخر الأصلي إلى صخر جديد له خواص جديدة. ويحدث هذا التحول عندما تتغير الظروف الطبيعية والكيميائية، تحت تأثير الحرارة والضغط والمحاليل الكيميائية النشطة، التي تتعرض لها الصخور، مما يجعل كثيرا من المعادن المكونة للصخر غير

ثابتة للظروف الجديدة وبالتالي تتحول إلى معادن جديدة أكثر ملاءمة للبيئة الجديدة. وعندما يتحول الصخر الرسوبي إلى صخر متحول فإنه يصبح أشد صلادة وأقل مسامية وأكثر تبلوراً. أما الصخر الناري فإنه عندما يتحول يفقد شكله الذي يميزه بأنه ناري (البلورات موزعة بلا نظام) ويكتسب شكلاً آخر يتميز بوجود البلورات مرتبة في خطوط متوازية تقريباً.

ومن أمثلة هذه النوعية من الصخور:

صخر الكوارتزيت Quartzite المتحول عن الحجر الرملي، وفي هذا الصخر تلتحم حبيبات الكوارتز بعضها ببعض بواسطة السيليكات التي ترسبت بين الحبيبات وفي مسام الصخر الأصلي، وينتج عن ذلك أن يكون الصخر المتحول صلباً جداً. وإذا كسر فإنه ينكسر عبر حبيبات الكوارتز، وبذلك يمكن تمييزه عن الصخر الرملي حيث يحدث المكسر حول حبيبات الرمل.

والرخام Marble صخر متحول عن الحجر الجيري، مكون من حبيبات الكالسيت بصفة عامة ونادراً ما يتكون من الدوليت. والحبيبات المكونة للرخام قد تكون صغيرة جداً لدرجة لا يمكن تمييزها بالعين المجردة، وقد تكون خشنة حيث يمكن تمييز انفصام الكالسيت بسهولة. والرخام لونه أبيض إذا كان نقياً خالياً من الشوائب ولكنه قد يبدو في ألوان متباينة (الاحمرار، أو الخضرة، أو الرصاصي، أو ما يقرب من السواد) لاحتوائه على شوائب مختلفة. والإردواز Slate صخر متحول عن الصخور الطفلية والطين المتكلس. وعلى هذا النحو، فإنها صخور كثيفة وصلبة على نحو معتدل. أما الاستثناء فهو الحجر الصابوني Steatite الذي يتسم بالمرونة المتناهية لكن يمكن حرقه إلى طين (كرونين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ١٥٥). ويعدّ الرخام، وهو الصخر المتماسك المتبلور ذو مقاومة كبيرة للعوامل الجوية والكيميائية المتلفة.

والقطع الأثرية الحجرية ما هي إلا تشكيل للصخر، غير أن الطين هو الاستثناء الذي يتم التعامل معه بشكل منفصل مثل الفخار. وجميع القطع الأثرية الحجرية تندرج تحت هذه المجموعات الثلاث، ويمكن أن تتنوع ما بين الأدوات البسيطة والدقيقة من أدوات الصيد والقتال وأدوات إعداد الطعام وصولاً إلى مواد البناء والمنحوتات الحجرية. وتتطلب عمليات الترميم والصيانة لهذه المواد معرفة تركيبها المعدني، وخواصها المختلفة من مسامية، وصلادة، ومثانة وخواصها الحرارية.

ثانياً: الفخار Pottery

مادة طينية تحولت إلى مادة صلبة بالحرق في النار، شاع استخدامه في صناعة أدوات الحياة اليومية، منه المسامي وغير المسامي، وينتج في أشكال عديدة وألوان عديدة. وعلى الرغم من أن القطع الأثرية المصنوعة من هذه المواد يمكن أن يعثر عليها في صورة كسر، إلا أن المادة التي صنعت منها تلك القطع تبدو وكأنها غير قابلة للكسر. كما تلتقي هذه القطع الأثرية الفخارية، والزجاجية، والحجرية عند نقاط أخرى، مثل: طريقة صنعها، ونسبة المعادن الموجودة بها، لذلك قام "بلندليث وفيرنر" بضمها في مجموعة "المواد السليكونية وما يتعلق بها"؛ وذلك بسبب نسبة السيليكات الموجودة فيها (Plenderleith and Werner, 1971 : 299-343)، حيث تتألف معظم أجزاء القشرة الأرضية من سيليكات مختلفة كثنائي أكسيد السيليكون (الرمل)، والصلصال، ومعدن التلك، وسيليكات الألومنيوم، وغيرها من السيليكات (روجرز ٢٠١٢م: ٢٥٠).

وتزخر مواقع الحفائر الأثرية بالكثير من القطع الفخارية والخزفية، وكذلك الآثار المغمورة من الفخار، إذ كثيراً ما تكون السفن محملة بكميات كبيرة من الأواني الخزفية المخصصة للتخزين أو أواني المطبخ. ويعود استخدام الفخار والخزف لنحو ١٠ آلاف سنة، حيث ظهرت هذه الصناعة منذ العصر الحجري الحديث، فقد ساعدت هذه الصناعة بني البشر على حفظ وجمع ونقل المنتجات الزراعية والمعدنية، وحفظ السوائل لعدم قابليته لتسريبها واستخدامه في الطهي لقابليته لنقل الحرارة.

صناعة الفخار

يصنع الفخار من الطين المحروق، وتعتمد جودته على محتواه أو مكوناته المعدنية، وظروف الحرق ومدته. ويعدّ معدن الكاولينيت ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) الكاولينيت المعدن الأولي والرئيس، بخلاف معادن أخرى مثل "المونتوموريلونيت" Montomorillonite والإليت Illite، وهي من معادن الطفلة الشائع وجودها في الطين. ويخترق الماء البلورات شبة الصفائحية دون الجهرية لهذه المعادن محيلاً

إياها إلى مادة لدنة رطبة يسهل تشكيلها أو تحويلها إلى كتلة ثلاثية الأبعاد. ويحتوي الطين الخام على معادن أخرى، مثل: الكوارتز، والفلسبار (سيليكات الألومنيوم المعدنية القلوية)، والكالسيت (كربونات الكالسيوم) ومركبات الحديد، مثل الليمونيت Limonite، ومركبات الكربون مثل الفحم والبقايا الحيوانية. إضافة إلى قطع صغيرة من كربونات الكالسيوم البلورية، أو حجر الصوان المتكلس، أو فتات الفخار القديم أو القش، عن قصد لتقوية الطين، وملء فراغاته لتسهيل تشكيل الأوعية الفخارية وحرقتها (كرونين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٢٠٣).

وعندما تجفف الاجسام الطينية في الهواء فإنها تفقد ليونتها وتصبح صلبة قليلاً. كما يتبخر الماء الموجود فيها بداية من درجة الحرارة ١٠٠°م حتى ١٥٠°م والرطوبة حيث يتحول الطين إلى مادة صلبة. وتبدأ المعادن الطينية، مثل المونوموريلونيت، في الانصهار عند درجات الحرارة المنخفضة مثل ٤٥٠°م كحد أقصى. وعند درجة الحرارة هذه يبدأ الكاولين $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ في التحلل معطياً الميتا كاولين* $Al_2Si_2O_7$ Meta-kaolin والماء. كما في المعادلة (Bellotto et al., 1995: 22):



وإذا ما ارتفعت درجة الحرارة إلى ٧٠٠°م فإن قوة المنتج المحروق تزداد بتشكيل آخر للميتا كاولين، وكذلك بواسطة الزجاج الذى يتكون بواسطة السيليكات، وعندما ترتفع درجة الحرارة إلى أعلى من ٧٠٠°م يتحول الميتا كاولين إلى موليت Mullite وأكسيد سيليكات في صورة زجاجية ويتكون زجاج غير تام، مع ارتفاع درجة الحرارة إلى ١٠٠٠°م أو أكثر يتشكل الزجاج بصورة أكبر. ولدرجة الحرارة تأثيرها أيضاً على المواد المصاحبة للطينة الفخارية، فعند درجة حرارة أعلى من ٢٠٠°م تتأكسد المواد الكربونية شبه الفحمية إلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، بينما أعلى من ٤٠٠°م، يتم اختزال أكسيد الحديد الأحمر (الهيماتيت) إلى أكسيد الحديد المغناطيسي الأسود (الماجنتيت)، بينما عند درجة حرارة أعلى من ٦٥٠°م تتحول كربونات الكالسيوم إلى أكسيد

* مزيج بسيط من السيليكات (SiO_2) عديمة التبلور Amorphous والألومينا (Al_2O_3)، عبارة عن بنية معقدة عديمة الشكل من طبقات مكسدة من سداسيات الوجوه.

كالكالسيوم وثاني أكسيد الكربون، وعند درجة حرارة 898°C تتحول كل كربونات الكالسيوم إلى أكسيد الكالسيوم يمكن أن يتحول إلى زجاج أو مركبات سيليكية معقدة. وتعتمد مسامية الفخار على مدى التحام معادن الطين بعضها مع بعض التحاماً كاملاً وجزئياً (كرونيين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٢٠٦-٢٠٧). والعوامل التي تؤثر في ألوان الفخار هي: نوع الطين، والشوائب الموجودة بالطين، وظروف الحرق، ومدة الحرق، وسمك جدران الأواني. وهناك ثلاثة طرق كانت متبعة في صناعة الفخار، وهي:

- التشكيل اليدوي، أي التشكيل عن طريق عمل نماذج مفردة باليد، كل قطعة على حدة.
- استخدام القوالب، وهي تشكل بأن يعمل لكل أنية قالب تصب فيه العجينة، وترفع من القالب بعد الحرق.
- استخدام العجلة أو الدولاب وذلك بوضع الطين في دولاب يدور وتشكل الطينة في أثناء الدوران من أعلى وأسفل على أن يتم الشكل المطلوب.

ويتوقف شكل الأنية الفخارية على الغرض من استخدامها، والذي يتحدد وفقاً له الأسلوب المستخدم في الصناعة، وكان الفخار يصنع بالتشكيل اليدوي أي التشكيل الحر بواسطة اليد خلال عصور ما قبل التاريخ، أما في العصور الإسلامية فقد استخدمت هذه التقنية بدرجة أكبر في صنع بلاطات مسطحة متنوعة الأشكال. ثم تطورت أساليب التشكيل بمرور الأيام حيث ظهرت تقنيات جديدة مثل التشكيل بالقالب، وكانت القوالب تصنع من الجبس أو الفخار المحروق أو من الحجر. وكانت تستخدم طريقة التشكيل بالكبس أو الضغط داخل القالب غالباً إذا لم تتوفر الطفلة الصالحة لاستخدامها في التشكيل بواسطة الدولاب أو عجلة الخزاف، وهي التقنية التي كانت ذات أهمية ملحوظة في سهولة تكوين الأشكال الخزفية والفخارية، وتعدد الإنتاج الكمي السريع. وقد تطورت الدواليب وتعددت أنواعها فبعضها يدار باليد أو بالقدم إلا أن الدولاب الروماني ذا القرصين هو الذي شاع استخدامه في العالم القديم.

ويمكن تمييز الفخار أو الخزف المصنوع خلال الحقبة التاريخية من أنواع الصلصال المستخدمة فيه، وكذلك من نسبة المعادن التي يحتويها ومدى لمعانها. إضافة إلى طرق تزيين كل منها، ودرجة حرارة الحرق. ويمكن تقسيم المنتجات الفخارية إلى قسمين بحسب درجة حرارة الحرق،

وهما: مجموعة القطع المصنوعة بدرجات حرارة عالية، وتلك المصنوعة بدرجات حرارة منخفضة. ويجب التمييز بين هاتين الفئتين لتحديد طريقة أو أسلوب ومواد الترميم الذي سيتم تطبيقها على القطعة الفخارية.

وتشتمل الأواني المصنوعة بدرجة حرارة منخفضة على قطع التراكوتا Terra-cotta (الشكل ١٤)، التي تعني بالإيطالية "خبز الأرض"، وهو نوع من الخزف أو الفخار الطيني غير المزجج، وتحرق في فرن درجة حرارته تقل عن ١٠٠٠°م، وهذه النوعية من الفخار تكون سريعة التلف في أغلب الأحيان. والآنية الخزفية، التي تتراوح درجة الحرارة أثناء صنعها بين ٩٠٠-١٢٠٠°م، تكون أشد صلابة؛ لأنها تعرضت لدرجة حرارة أكبر في أثناء تصنيعها، وتأتي بلون أحمر، أو أصفر، أو أصفر مائل للبرتقالي حسب نسبة المعادن الموجودة فيها. وعلى الرغم من ذلك فهي لا تصمد أمام الماء، ولهذا تغطى بطلاء أو غطاء زجاجي في بعض الأحيان لمنع نفاذ الماء لها، ولهذا لا بد للمشتغل بالترميم أن يكون على دراية كاملة بطبيعة الآنية الفخارية، والمشكلات التي قد تتعرض لها نتيجة تسرب الأملاح إليها (روجرز، ٢٠١٢م: ٢٥٣).



الشكل (١٤). نماذج للفخار الطيني المعروف باسم التراكوتا.

ثالثاً: الزجاج Glass

يظهر الزجاج في الطبيعة على شكل حجر الاوبسيديان البركاني Obsidian، وتم استخدامه في تشكيل الأواني في الألف الثالثة قبل الميلاد كطبقة تغطي الأواني الفخارية فيما يعرف بالفخار المزجج، أما أول أنية مصنوعة من الزجاج بشكل كامل فظهرت بعد هذا التاريخ بفترة طويلة، وكان ذلك في حدود ١٥٠٠ ق.م، وكان المنتج الأول من الزجاج باللون الأزرق في بداية الأمر؛ نتيجة وجود أملاح النحاس المعدنية في الخليط الزجاجي. ثم تمكّن صانعو الزجاج من الإرتقاء بفن صناعة الزجاج إلى آفاق جديدة، وذلك بتطوير أنابيب النفخ، وبذلك حققت القطع الزجاجية إرتفاعات في أطوالها، وكان ذلك قبل الميلاد بفترة وجيزة (روجرز، ٢٠١٢م: ٢٥٩).

صناعة الزجاج

يصنع الزجاج من الرمل أو السيليكا (ثاني أكسيد السيليكون SiO_2). المكون الأساس له، ويحتاج الزجاج إلى درجة حرارة عالية بخلاف الفخار، حيث يتم تسخين الرمل لتشكيل الكتلة الزجاجية. وتعمل المواد المساعدة للصهر مثل أكسيد الصوديوم أو الرماد الناتج من حرق الأخشاب (مصدر للبوتاس K_2O) أو كربونات الكالسيوم، جميعها تعمل على التقليل من درجة انصهار السيليكا عن طريق قطع بعض روابط السيليكون-الأكسجين، ومن ثم كسر الشبكة المتواصلة. وتصبح ذرات الأكسجين أحادية التكافؤ في مساحات الشبكة (الشكل ١٤) (كرونين وريبنسون ٢٠٠٦م: ١٨٦). وقد يضاف الماغنسيوم لتعزيز ثبات القطعة الزجاجية. والأكسيد المعدني كمادة ملونة، وتعمل أكاسيد النحاس على تلوين الزجاج بلون أزرق، أو أخضر، في حين يقوم الحديد بتلوينه باللون الأخضر الغامق (روجرز، ٢٠١٢م: ٢٦٠).

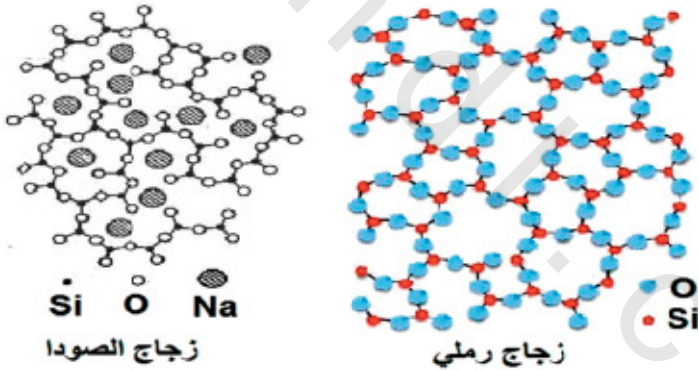
والزجاج الذي يعود لفترة بداية التاريخ يمكن تصنيفه إلى صنفين مختلفين:

- صنف يضم كلاً من البوتاس والجير أو الكلس، وثاني أكسيد السيليكون. وكان سائداً خلال الفترة التي سبقت القرن السابع عشر، حيث كان يتم استخراج بوتاسيوم Potash

من رماد العظام المحروقة، كما كان حجر الصوان يستخدم كثيراً لتشكيل الزجاج بدلاً من ثاني أكسيد السيليكون (روجرز، ٢٠١٢م: ٢٦٠).

- صنف يحتوي على الصودا، والجير والسيليكا. وهو الصنف الذي بدأ في صناعته مع حلول القرن التاسع عشر. ويختلف نسب هذه المكونات، حيث تتراوح نسبة السيليكا بين ٦٠-٧٣٪، ونسبة الجير بين ٥-١٥٪، والصودا من ٢٢-٢٥٪ Plenderleith, (1971 :344; Singley, 1988 :22).

وتحدد درجة انصهار الزجاج وخواصه نسبة ما يحويه من السيليكا فالزجاج المكون من الصودا-الجير يحتوي على ٧٣٪ سيليكا، و ٢٢٪ مادة مساعدة للصهر، و ٥٪ معادل لمساعد الصهر تكون درجة انصهاره حوالي ٧٢٥°م، بينما يتصلب زجاج البوتاس بسرعة أكبر وعند درجة حرارة أعلى، ويكون الأول أكثر لمعاناً من الأخير، ويمكن ملاحظة ترتيب العناصر في كلا النوعين من الزجاج (كما في الشكل ١٥) (كرونين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ١٨٦).



الشكل (١٥). ترتيب العناصر في الزجاج (عن كرونين وروبنسون ٢٠٠٦م: ١٨٦)

٢،١،٢ التركيب الكيميائي للمواد الأثرية الفلزية أو المعدنية

Chemical composition of the metallic archaeological materials

الفلزات قد تكون أحد مكونات المعادن، ومنها تستخلص، فمثلاً فلز النحاس هو المكون الرئيس لمعدن المالاكيت Malachite (كربونات النحاسيك القاعدية) ومنه يستخلص، وكذلك الرصاص

يستخلص من معدن الجالينا (كبريتيد الرصاص) الخام الرئيس له، والقصدير من معدن الكاسيتريت Cassiterite (رابع أكسيد القصدير SnO_2)، والحديد من الهيماتيت الخام الرئيس للحديد، والفضة من كلوريد الفضة الخام الرئيس للفضة، وكذلك الألومنيوم البوكسيت (أكسيد الألومنيوم) الخام الرئيس للألومنيوم. وقد توجد هذه الفلزات في صورة منفردة دون مخاليط من شوائب أخرى يسهل استخلاصها وبالتالي استخدامها مباشرة، أو خلطها بفلزات أخرى في صورة سبائك واستخدامها في الأغراض الصناعية المختلفة.

وتتركب الفلزات من الذرات Atoms، وهي المكون الأصغر في تركيب المعادن، وتتجمع الذرات مع بعضها البعض، أو مع غيرها من الذرات، في نظام هندسي يشبه الشبكة، وتكون الأبعاد بين الذرات محددة، تتكون البلورة Crystal. وعلى هذا الأساس يجب أن تتصور البلورة كبنيان يتكون من وحدات غاية في الدقة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة، وبتحاديها مع غيرها من البلورات تتكون الحبيبة Grain، وتتجمع الحبيبات وترابطها يتكون المعدن (France, 1980: 6).

الروابط الفلزية Metallic bonds

وترجع قوة الفلزات لاتحاد هذه الذرات مع بعضها البعض بروابط قوية، تسمح في الوقت نفسه للذرات أن تتحرك، وإلا ما أمكن الطرق عليها لتحويلها إلى ألواح، أو سحبها إلى أسلاك. وهذه الرابطة هي الرابطة الفلزية، التي يمكن أن تنشأ بين ذرات الفلزات ذات الكهربية السالبة الضعيفة، التي لا تستطيع جذب إلكترونات التكافؤ Valence electrons الخاصة بها، مما يسمح لهذه الإلكترونات أن تتحد مع الذرات المحيطة مسببة تكون أيونات موجبة (كاتيونات). وتتماسك ذرات الفلز بعضها مع البعض في شكل بلوري صلب، ويحتوي هذا الشكل البلوري على الأيونات الموجبة، والإلكترونات الحرة، التي تتحرك حركة عشوائية خلال الشبكة البلورية. وتزداد قوة الرابطة الفلزية كلما ازداد عدد الإلكترونات الحرة في الفلز؛ أي كلما ازداد عدد الإلكترونات الخارجية

المتحركة المعروفة بالكترونات التكافؤ؛ ولأن إلكترونات التكافؤ هذه تتحد مع كل الذرات فإنها لا تعدّ ملازمة أو مصاحبة لأي ذرة واحدة منها.

وهذه الرابطة تختلف عن الرابطة الأيونية، أو التساهمية حيث تشترك الإلكترونات مع ذرة، أو ذرتين، وبالتالي فإن الرابطة الفلزية أكثر قوة وبجانباً. ولأن الإلكترونات تكون منجذبة للعديد من الذرات فإن هذا يمنحها الحركة الكبيرة؛ وهو ما يكسب الفلزات أو المعادن التوصيل الحراري، أو الكهربي الجيد. وفوق درجة أو نقطة الانصهار Melting point، وهي الدرجة التي عندها ينصهر الفلز أو المعدن ويتحول إلى الحالة السائلة، تترتب ذراتها في هذه الحالة بصورة عشوائية وتكون حرة الحركة نسبياً. ومع ذلك عندما يبرد أو يتجمد الفلز تحت درجة الانصهار فإنه يعيد ترتيب ذراته ليكون تركيبات بلورية منتظمة.

والفلزات وسبائكها مثل غيرها من المواد الصلبة المتبلورة تتميز بترتيب الذرات في مجموعات عديدة من المسطحات المتوازية، حيث تتميز بوجود مسافات ثابتة بينها تسمى بالأبعاد العمودية بين المسطحات الذرية. ويكون البعد العمودي بين كل مجموعة من هذه المسطحات ثابتاً ومميزاً للمعدن، أو المادة المتبلورة بصفة عامة (حلمي، ١٩٩٤م: ٣١). ولكل معدن شكل أو عدة أشكال بلورية مميزة وخاصة به، وتعكس بناءه الذري الداخلي، وعند اكتمال هذه الأشكال فإنها تكتسب جمالاً خاصاً. ولكن الأشكال البلورية المكتملة نادرة، فالمعادن غالباً ما توجد على هيئة أشكال غير منتظمة، أو على هيئة بلورات غير مكتملة. والشكل البللوري يعكس البناء الذري للمعدن، بل ويساعد في التعرف عليه.

والتركيب البلوري لفلز المعدن، والذي يشتمل على حجم وشكل الخلية، إضافة إلى عدد ذرات الفلز، ومواقعها، وحجمها، والبعد بينها، يعدّ ثابتاً وخاصاً بالمعدن. وإن نوع الذرات وترتيبها الداخلي في أي معدن لا يحددان شكله البلوري فقط بل يحددان أيضاً خواصه الطبيعية، والكيميائية، والضوئية. فعلى سبيل المثال الخلية المركزية الأوجه أكثر قابلية للطرق والسحب من الخلية المركزية من الداخل.

وتتميز المعادن الفلزية بقابليتها للسحب Ductile إلى أسلاك، وقابليتها للطرق Malleable إلى صفائح رقيقة كما في حالة النحاس والذهب والفضة. كما تتميز بصلابتها العالية، ويتميز

أغلبها بسهولة انصهاره عند درجات الحرارة العالية. وتتميز أيضاً بأنها غير ثابتة كيميائياً، حيث تتفاعل مع الأكسجين في الهواء بمرور الوقت مكونة أكاسيد، فالحديد يصدأ وتتكون على سطحه أكاسيده المميزة باللون الأحمر والأسود، وكذلك النحاس، كما تفقد الفضة لمعانها ولونها الفضي المميز نتيجة تعرضها للهواء، بينما لا يتفاعل الذهب مع الأكسجين الجوي. كما أن بعض الفلزات تتكون طبقة من الأكسيد واقية وحامية لها على سطحها لا يمكن اختراقها بجزيمات الأكسجين، ولهذا فإنها تحتفظ بخاصية اللمعان والتوصيل لعقود عديدة كما هو الحال مع بعض أنواع الصلب.

كما تتميز المعادن الفلزية بأنها تحتوي في مداراتها الخارجية على عدد من الإلكترونات (الإلكترونات التكافؤ) يتراوح من ١-٣ تتميز بضعف ارتباطها بنواة الذرة بحيث يسهل حركتها وانتقالها من ذرة إلى ذرة أخرى إذا تعرضت الذرة لجزء ولو ضئيل من الطاقة. والواقع أن ذرة الفلز تتكون من هذه الإلكترونات سالبة الشحنة، والإلكترونات الداخلية والنواة التي تمثل الشحنة الموجبة. ويحدث جذب كهربائي بين الإلكترونات الداخلية، موجبة الشحنة، مع إلكترونات التكافؤ الخارجية، سالبة الشحنة، بفعل قوى الجذب الكهربائية، وتسمى هذه بالرابطة الفلزية، وهي المسؤولة عن تماسك ذرات الفلز، وهي التي تكسب الفلزات خصائصها المميزة.

ولقد استخدم الإنسان القديم الفلزات المعدنية الخالصة، مثل: الذهب، والفضة، والنحاس، والقصدير، والرصاص، في صناعة الأدوات، والأسلحة، والحلي وغيرها من الاستخدامات. كما استطاع خلط فلزين أو أكثر لصنع سبائك ذات مواصفات وخصائص تختلف عن خواص الفلزات التي صنعت منها. والسبيكة هي خليط متجانس يتكون من فلزين معدنيين أو أكثر. ويندر أن تكون مكونات السبيكة متساوية، ويحتوي هذا الخليط على نسبة كبيرة لفلز واحد رئيس ونسبة أو نسب أقل من المكونات الأخرى، التي قد تكون فلزات أو لافلزات، مثل: الكربون (C) والسليكون (Si)، والتي تحسن من خواص هذا الفلز، فالصلب Steel أقوى من الحديد الفلز الرئيس لهذه السبيكة التي تتكون من الحديد والكربون.

وعلى خلاف المعادن أو الفلزات النقية، فإن معظم السبائك ليس لها درجة انصهار واحدة أو ثابتة، ولكن معدل غير ثابت تكون المادة عنده عبارة عن خليط من الحالات الصلبة والسائلة. ودرجة الحرارة التي تبدأ عندها مكونات السبيكة في الانصهار تسمى بدرجة التصلب أو التجمد

Solidus temperature، بينما الدرجة التي عندها يكمل الانصهار تسمى بدرجة السيولة Liquid temperature، وفيما بين الدرجتين تكون السبيكة في صورة قوام ضعيف التماسك. فوجود الأجزاء المتحدمة مع الأجزاء السائلة لا يعطيها القوة التي للسبيكة المتحدمة أو المتصلبة كلية، نظراً لإحاطة الأجزاء المتحدمة بالأجزاء السائلة. وهناك سبائك تتميز بأن فلزاتها تمتزج مع بعضها امتزاجاً كاملاً مثل سبيكة البرونز (النحاس والقصدير)، في حين أن البعض الآخر من السبائك تكون فلزاته محدودة الامتزاج مثل سبيكة البيلون (النحاس والفضة)، في حين أن البعض الثالث لا يمتزج تماماً مع بعضه البعض وتسمى بالسبائك أو المحاليل الصلدة معدومة الامتزاج، مثل سبيكة النحاس والرصاص.

وفي مجال المواد الأثرية المعدنية، استخدمت الفلزات غير الحديدية، مثل: الذهب والنحاس والفضة والرصاص والقصدير، وكذلك استخدم الحديد، في صناعة المشغولات الأثرية المعدنية .

أولاً: الذهب Gold Au

الذهب يرمز له بالرمز "Au" اختصاراً لكلمة Aurum باللاتيني، عدده الذري ٧٩، ويوجد في الغالب خالصاً، غير أنه لا يوجد نقياً بصورة كاملة، فغالباً ما يحتوي على كميات متفاوتة من الفضة، ويعرف الذهب الذي يحتوي على كميات عالية من الفضة (من ٢٠-٤٠٪) باسم الإلكتروم Electrum. كما يحتوي أحياناً على نسبة صغيرة من النحاس، وفي حالات أندر على آثار ضئيلة من الحديد والرصاص والبيزموث ..إلخ. ويوجد غالباً في هيئة صفائح غير منتظمة الشكل أو قشور أو كتل، ويسمى بـ "التير" قبل استخلاصه وتشكيله.

ويتميز الذهب بلونه الأصفر الخاص به، وبقابليته للسحب والطرق، فهو من أكثر الفلزات لدونة، وصلادة الذهب تتراوح بين ٢,٥ - ٣ حسب مقياس "موه" للصلادة، ووزنه النوعي

١٩,٢، عندما يكون نقياً. وينصهر المعدن بسهولة، فدرجة انصهاره 1063°C ، ولا يذوب في الأحماض المختلفة، ولكنه يذوب في الماء الملكي* (حلمي، ١٩٩٤م: ٢٥٠).

ويسبك الذهب مع النحاس أو الفضة أو النيكل، وذلك بنسب مختلفة؛ بغرض زيادة صلابته واستخدامه في تصنيع مشغولات عديدة، تتدرج قيمتها حسب نسبة ما تحويه من ذهب.

ويحتل الذهب قمة المعادن الموجبة الشحنة في السلسلة الكهروكيميائية Electrochemical series، وهي السلسلة التي قُسمت فيها المعادن طبقاً للجهد الكهربائي لكل معدن إلى معادن موجبة الجهد وأخرى سالبة الجهد، ثم رتب ترتيباً تنازلياً من المعادن ذات الجهد الكهربائي الموجب العالي، ثم ترتيباً تصاعدياً من المعادن ذات الجهد الكهربائي السالب المنخفض إلى العالي، وذلك بمقارنة هذه المعادن بالجهد الكهربائي لغاز الهيدروجين، الذي يتوسط هذا الترتيب بقيمة صفر جدول رقم (٢).

جدول رقم (٢). السلسلة الكهروكيميائية للمعادن مرتبة نسبة إلى الجهد الكهربائي للهيدروجين.

العنصر	الرمز	تحلل المعدن	الجهد الكهربائي
الذهب	Au	$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^{-}$	+ 1.50
الفضة	Ag	$\text{Ag}^{+} + \text{e}^{-}$	+ 0.799
نحاس أحادي	Cu	$\text{Cu}^{+} + \text{e}^{-}$	+ 0.522
نحاس ثنائي	Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	+ 0.337
الهيدروجين	H_2	$2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-}$	- 0.00
الرصاص	Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	- 0.126
القصدير	Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	- 0.136
النيكل	Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	- 0.250
الحديد	Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	- 0.440

* خليط من حمضي الهيدروكلوريك والنيتريك.

ثانياً: الفضة (Ag) Silver

الفضة فلز يرمز له بالأحرف "Ag" اختصاراً لكلمة Argentum باللاتيني وذلك نسبة إلى الأرجنتين حيث وُجدت الفضة بكثرة. ويأتي فلز الفضة في المجموعة الانتقالية رقم (II) من الجدول الدوري، ورقمها الذري (٤٧)، ووزنها النوعي ١٠٠,٥، عندما تكون نقية، ويصل إلى ١٢ إذا كانت غير نقية. وتنصهر الفضة عند درجة حرارة من ٩٥٠ - ٩٦٠°م (جميل وعجم، ١٩٩٨م: ٢٥٩).

والفضة من أوائل الفلزات التي استخدمها الإنسان، ويرجع تاريخها إلى العصر الحجري القديم، حيث اكتشفت بعد اكتشاف الذهب (حسن، ١٩٩٧م: ٥٩). وكانت أهم استخدامات الفضة قديماً في صنع الحلبي، والكؤوس، والأواني، والعملات (الشكل رقم ١٦)، إضافة إلى أنها كانت تطرق إلى صفائح وأوراق رقيقة وتستعمل لتغطية الخشب، كما كانت تستعمل في طلاء النحاس ولحامه. كما استخدمت على نطاق واسع في صناعة العملات المعدنية (حسن، ١٩٩٧م: ٦٠).



الشكل (١٦). عملات من الفضة يعود تاريخها للقرن الأول الميلادي، المتحف الوطني بالرياض، المملكة العربية السعودية.

وتتميز الفضة بقابليتها الكبيرة للطرق والسحب والصقل، وقابليتها العالية للتوصيل الحراري والكهربي. وتتراوح صلادة الفضة بين ٢,٥ - ٣ حسب مقياس "موهس" للصلادة، والفضة غالباً ما

تحتوي على ٥٪ شوائب، مثل: النحاس، والحديد وغيرها. والفضة الخالصة لا تقل نسبة الفضة بها عن ٩٢,٥ ٪، بينما الفضة الخام يمكن أن تصل نسبة الفضة بها إلى ٨٠٪. وعلى الرغم من درجة انصهارها غير العالية، فمن الصعب أن يتم صبها أو سبكها (France, 1980: 30).

خامات الفضة Silver ores

- خام الأرجنتيت Argentite الذي يتركب كيميائياً من كبريتيد الفضة (Ag_2S) (الشكل ١٦). وهو المصدر الرئيس للفضة، ويحتوي على فضة بنسبة ٧٨٪، وكبريت بنسبة ١٣٪ تقريباً (حلبي ١٩٩٤م: ٢٦١).
 - خام السيرارجريت Cerargyrite، ويتركب كيميائياً من كلوريد الفضة.
 - السيروسيت Cerussite، ويتركب من كربونات الرصاص.
 - خام البيرارجريريت Pyrargyrite، ويتركب كيميائياً من كبريتيد الفضة والأنتيمون.
 - خام البروستيت Proustite، ويتركب من كبريتيد الفضة والزرنيخ.
- والفضة النقية هشة جداً، ولهذا فإنها تخلط مع الفلزات الأخرى لتكوّن سبائك ذات صفات جديدة.



الشكل (١٧). عينة من خام الأرجنتيت Argentite الخام الرئيس للفضة.

سبائك الفضة Silver alloys

سبيكة الإلكتروم Electrum الطبيعية، التي تتكون من إضافة الفضة إلى الذهب،

- سبيكة البيللون Billion، التي تتكون من إضافة النحاس إلى الفضة؛ للحصول على سبيكة أعلى صلادة من الفضة. وقد يتغير لونها بعض الشيء، إلا أن السبيكة التي تحتوي على ٥٠٪ نحاس، تبقى بيضاء تماماً (France, 1980: 30).
- سبيكة الفضة والزئبق، التي تسمى بالملغم Amalgam.

ثالثاً: النحاس Copper (Cu)

النحاس فلز ذو مظهر بني محمر، رمزه الكيميائي (Cu) اشتقاقاً من الاصل اللاتيني لاسم جزيرة قبرص Cyprus وسمي الحام Cyprum، رقمه الذري ٢٩، وشكله بللوري، وصلادته تتراوح بين ٥،٢-٣. ويتميز بقابليته العالية للطرق والسحب، ولهذا يسهل التعامل معه على البارد أو الساخن بدرجة تخمير بين (٥٠٠-٦٠٠°م). كما يتميز بتوصيله الجيد للحرارة والكهرباء، ووزنه النوعي (٨،٩)، ودرجة انصهاره (١٠٨٣°م). وتقل هذه الدرجة بوجود كميات صغيرة من الشوائب الطبيعية، مثل الزرنيخ، أو الرصاص، أو الحديد (كرونيون وروبنسون ٢٠٠٦م: ٢٧)، والتي تعتمد كميتها على الطريقة التي يتم استخلاص النحاس بها. وهذه الشوائب تقلل أيضاً من درجة توصيله للحرارة والكهرباء، غير أنها تزيد من صلادته (Lakhtin, 1971: 383).

وعادة ما يوجد النحاس في الطبيعة في صورة مركبات أو خامات Ores مختلفة، مثل:

- الملاكييت Malachite، ويتركب كيميائياً من كربونات النحاس القاعدية، (Booth, 1993: 31)،
- الأزوريت Azurite، ويشبه في تركيبه خام الملاكييت، حيث يتركب من كربونات النحاسيك القاعدية أيضاً.
- الكالكوبيريت Chalcopyrite، ويتركب من كبريتيد النحاس والحديد، ويوجد مختلطاً بكمية كبيرة من البيريت (كبريتيد الحديدوز FeS_2).

- الأتاكميت Atacamite الذي يتركب كيميائياً من كلوريد النحاسيك القاعدي، ويتميز باللون الأخضر وهو من الخامات الرئيسية للنحاس.
- الكالكوسيت Chalcocite الذي يتركب من كبريتيد النحاسوز (Cu_2S)، ويتميز بلونه الرصاصي الفاتح أو المشوب بالحمرة.
- الكوفيليت Covellite، ويتركب من كبريتيد النحاسيك (CuS).
- الكوبريت Cuprite أكسيد النحاسوز (Cu_2O) (Fucha and Hasek, 1995: 35).

ولقد بدأ استخراج النحاس من خاماته، وخاصة الأكاسيد والكربونات، منذ ٤٠٠٠-٣٥٠٠ ق.م وكان النحاس الناتج غنياً بالشوائب، مثل: الكربون، والكالسيوم، والفسفور، والأنتيمون، والحديد، والرصاص، والزرنيخ، ومليناً بالفقاعات الهوائية، نتيجة الغازات المتولدة مع بعض الشوائب اللافلزية، ويطلق عليه في هذه الحالة المعدن الرديء القاسي Coarse metal، وتجرى له عملية التنقية وإعادة الصهر لاستبعاد الشوائب والخبث (البناء، ١٩٨٧م: ٦٨). وينتج معدن يتميز بدرجة نقاء عالية، حيث يحتوي على نحاس بنسبة (٩٥-٩٧٪)، إضافة إلى الشوائب (Hodges, 1988: 68).

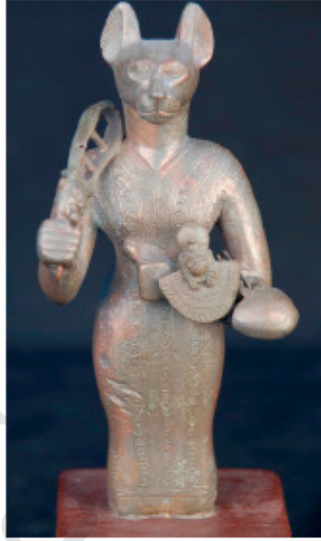
سبائك النحاس Copper alloys

يخلط النحاس مع فلزات أخرى لإنتاج سبائك مختلفة، لكل منها صفات تختلف باختلاف المعادن التي تم خلطها بالنحاس. من هذه السبائك:

أ) سبيكة البرونز Bronze alloy

وهي من أقدم السبائك التي عرفها الإنسان، وتتكون عادة من خلط النحاس بالقصدير، ولكنها ليست بالضرورة مقصورة على هذه العناصر، فقد كانت تحتوي على نسب صغيرة لعناصر أخرى. وتراوح نسبة القصدير في البرونز القديم من (٢-١٦٪)، وإذا قلت نسبة القصدير عن (٢٪)، فإنها تعدّ من الشوائب التي توجد في الخام الذي استخلص منها النحاس، وليست مضافة عن عمد لصناعة السبيكة.

وتتأثر خواص البرونز بنسبة القصدير، والمعالجات الحرارية والميكانيكية التي يتعرض لها (France, 1980: 38)، فالبرونز المحتوي على نسبة قصدير أقل من (٣٪) يأخذ اللون الأصفر أو الأحمر، ومع زيادة نسبة القصدير عن ذلك يأخذ البرونز اللون الأبيض أو الرمادي. كما أن إضافة القصدير بنسبة (٤٪) إلى النحاس تزيد من متانته (لوكاس، ١٩٩١م: ٢٥٣)، ومع زيادة هذه النسبة إلى (١٥٪)، تصبح السبيكة قابلة للصب بصورة جيدة عند صهرها. إلا أن الزيادة في نسبة القصدير، تتسبب في زيادة قوة الشد، وقد تؤدي إلى جعل السبيكة هشّة. وعندما تصل النسبة إلى ما بين (١٩-٢٨٪)، فإن السبيكة تصبح أكثر هشاشة، وقد تعرض للكسر والتشقق. وتنخفض درجة الانصهار للنحاس بإضافة القصدير إليه، ومن المعروف أن درجة انصهار النحاس (١٠٨٣م°)، في حين أن درجة انصهار سبيكة النحاس تتكون من (٩٥٪) نحاس و(٥٪) قصدير تنخفض إلى (١٠٥٠م°). وإذا وصلت نسبة القصدير (١٥٪)، تقل درجة الانصهار إلى (٩٦٠م°) (France, 1981: 160). ويتميز البرونز المنصهر بأنه أسهل في عملية الصب عن النحاس؛ لأنه أكثر سيولة (زين العابدين، ١٩٧٤م: ٢٢١). كما أن البرونز يزداد حجمه قليلاً عند تحوله من حالة الانصهار إلى حالة التصلد أو التجمد؛ وهي الصفة التي جعلته يصلح في عمليات صب التماثيل وغيرها من المشغولات عن النحاس، حيث يعطي كل التفاصيل الدقيقة للسطح الداخلي للقالب عند التصلد عكس النحاس الذي ينكمش (الشكل ١٨). وإضافة إلى ما سبق، فإن البرونز لا يمتص الغازات وهو ساخن، بل يطردها عند التصلد؛ لأن وجود القصدير يمنع امتصاص غاز الأكسجين، أو الغازات الأخرى ويعلل هذا خلو التماثيل القديمة المصبوبة من فقايع الغازات (البنا ١٩٨٧م: ١٧).



الشكل (١٨). تمثال من البرونز تغطي سطحه الكثير من التفاصيل الدقيقة، المتحف المصري بالقاهرة.

ب) سبيكة البراس Brass alloy

وفي بداية الألف الأول قبل الميلاد، تم التوصل إلى صناعة سبيكة البراس، وكانت سبيكة البراس Brass alloy تتكون من النحاس مضافاً إليه الزنك في صورة خامة معدنية (خامة أكسيد الزنك، أو كربونات الزنك). وترجع عملية سبك الزنك أو خلطه بعد استخلاصه من خاماته مع النحاس لإنتاج هذه السبيكة وتسمى بالطريقة المباشرة، إلى القرن السادس عشر الميلادي: Forbes, 1972: (273)، وكان الناتج في صورة سبيكة ذات مظهر ولون مشابه للون الذهب ومظهره، وتعرف بالنحاس الأصفر. وكانت نسبة الزنك تصل إلى (٣٠٪)، وأحياناً ما كان يضاف القصدير، أو الرصاص إلى هذه السبيكة، وخاصة في العصور المتأخرة. وتصل درجة انصهار السبيكة إلى (١٠٠٠ م°)، عندما تحتوي على نسبة (٢٠٪) من الزنك، وعندما تزيد نسبة الزنك إلى (٦٠٪)، تنخفض درجة الانصهار إلى (٨٣٣ م°)، والمعروف أن درجة انصهار النحاس وحده (١٠٨٣ م°)،

بينما درجة انصهار الزنك (419°C). ويمكن لسبيكة البراس Brass alloy أن تحتوي على معادن أخرى، إضافة إلى النحاس والزنك، مثل الزرنيخ، والكاديوم، والقصدير، والرصاص، والحديد، والأنيمن، في صورة مواد إضافية قليلة جداً لا تتعدى ١٠٪ (Forbes, 1972: 273).

ج) سبيكة البيللون Billon alloy

تتكون هذه السبيكة من الفضة المضافة إلى النحاس؛ بغرض رفع صلابتها. وقد تصل نسبة النحاس في السبيكة إلى (٥٠٪)، وهو ما يجعل السبيكة تحتفظ بلونها الأبيض، غير أن مظهرها الخارجي يتغير نتيجة تعرض النحاس للصدأ (France, 1980: 30). وقد استخدمت هذه السبيكة في صناعة العملات قديماً. كما استخدمت في صناعة الحلبي والأدوات المختلفة، وكانت نسبة الفضة تصل إلى (٨٠٪)، والنحاس بنسبة ٢٠٪ (كرونين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٣٤٣).

رابعاً: الرصاص (Pb) Lead

يسمى باللغة العربية القتران*، و هو فلز ذو لون أبيض مائل إلى الزرقة الخفيفة، قابل للطرق والسحب، هش، وضعيف المقاومة الميكانيكية، موصل للحرارة والكهرباء، درجة انصهاره 327°C ، ووزنه النوعي ١١،٣، عدده الذري ٨٢ (France, 1980: 36). ويتميز بسهولة صبه في قوالب، وأهم ما يميزه وزنه العالي، ومعامل تمدده العالي (Avner, 1974: 517). وللفلز مقاومة عالية للأحماض مثل حامض الكبريتيك وحامض الهيدروكلوريك ولكنه يذوب جيداً في حامض النيتريك (جميل وعجم، ١٩٩٨م: ٢٢٢).

ومن خامات الرصاص كبريتيد الرصاص (الجالينا PbS). وتعدّ من أشهر خامات الرصاص، ثم أكاسيد الرصاص (PbO)، أو كربوناته مثل خام السيروسيت (PbCO_3)، وكبريتاته مثل الانجليزيت (PbSO_4)، وهو من خامات الرصاص الثانوية المهمة واسعة الانتشار (حلمي، ١٩٩٤م: ٣٢٩،

* لسان العرب، باب صرف.

(٣٣٩). كما تحوي معادن، مثل: الحديد، والفضة، والزنك، والنحاس، ومعادن أخرى بنسب مختلفة من خامات الرصاص (جميل وعجم، ١٩٩٨م: ٢١٦). ولقد كان الرصاص يضاف إلى البرونز بنسبة وصلت أحياناً إلى أكثر من ٢٠٪، حيث يساعد في خفض درجة انصهار البرونز إلى حد كبير وبذلك يسهل صبه. وملء الفراغ داخل أجسام تماثيل البرونز (لوكاس، ١٩٩١م: ٣٨٥)، (عافية، ج١، ٢٠٠٦م: ١٧٥).

خامساً: القصدير (Sn)

القصدير فلز أبيض اللون و يرمز له بالرمز Sn اختصاراً لكلمة Stannum اللاتينية، ويوجد في الطبيعة على هيئة مركبات، ينصهر عند درجة حرارة ٢٣٢°م، وهو فلز لين، يمكن تحويله إلى أشكال مختلفة في درجات الحرارة العادية. ويتميز القصدير المنصهر بسيوولة عالية جداً وقدرة على الالتصاق بالفلزات الأخرى مما جعله مادة لحام جيدة (حسن، ١٩٩٧م: ١٦٧). ويستخدم هذا الفلز لصناعة السبائك المختلفة، كما أنه يستخدم في طلاء الفلزات؛ لأنه يلتصق على سطوحها بقوة، مثل: الحديد والصلب والنحاس (جميل وعجم، ١٩٩٨م: ٢٤٣).

ونحام القصدير الرئيس هو الكاسيترايت (أكسيد القصدير أو حجر القصدير)، وتوجد في بعض المناطق كميات قليلة من كبريتيد القصدير المتحد بكبريتيدات النحاس والحديد ويسمى ستانيت Stannite، أو ستانين Stannine، أو بيريت القصدير Tin pyrites (جميل وعجم، ١٩٩٨م: ٢٤١). والفلز أسهل الفلزات استخلاصاً، إذ يمكن استخلاصه بمجرد تسخين الأكسيد مع الفحم النباتي، وهو الوقود الذي كان يستعمل قديماً لاستخلاص الفلزات من خاماتها بالصهر حتى القرن الثامن عشر الميلادي.

وعادة ما يضاف الرصاص إلى القصدير لإنتاج العديد من سبائك اللحام، التي تتميز بقوة أكبر من سبائك الرصاص والقصدير (السبائك التي تتكون أساساً من الرصاص). ومن أكثر الفلزات التي تضاف إلى القصدير في صورة سبائك: الأنتيمون، والنحاس (Avner, 1974: 522). وقد استخدم القصدير كسبيكة مع الرصاص تعرف بسبيكة البيوتر (Peweter (Stambolov, 1985

147):. وتراوح نسبة الرصاص في هذه السبيكة بين (٢٥-٥٠٪) في العصر الروماني، بينما قلت نسبته فيها عن (٢٥٪) في العصور الوسطى، إلى أن اختفت، أو كادت في العصور الحديثة، حيث تكونت من القصدير مع كمية صغيرة من النحاس والبيزموت. وتتميز هذه السبيكة بدرجة انصهار منخفضة حيث تبلغ درجة انصهار السبيكة ١٨٣°م، إذا كانت تحتوي على نسبة ٦٣٪ قصدير (كروزيين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٣١٣). وكثيراً ما كانت تستخدم كسبيكة لحام (Stambolov, 1985: 147).

سادساً: الحديد Iron

الحديد عنصر فلزي يرمز له بالرمز "Fe" (من اللاتينية: Ferrum) وعدده الذري ٢٦. وهو فلز قابل للطرق والسحب، وغالباً ما يتواجد في الطبيعة في صورة أكاسيد. والحديد هو العنصر الرابع بعد الأكسجين والسيليكون والألومنيوم الأكثر شيوعاً في القشرة الأرضية، وتحتوي النيازك الساقطة على الأرض على كميات من الحديد قد تصل إلى ٩٠٪ من كتلة النيازك. والحديد في الأصل فضي اللون، إلا أنه يتأكسد في الهواء. وترجع أهمية الحديد إلى شدة قوته، وقابليته لتكوين سبائك مع معظم الفلزات الأخرى بمواصفات متعددة تلي جميع الأغراض الصناعية والتكنولوجية، إضافة إلى شيوع خاماته والحصول عليها، وكذلك سهولة استخراجها منها نسبياً (حسن، ١٩٩٧م: ٦٤). والحديد في حالته النقية أكثر ليونة من الألومنيوم، وتزداد صلادته بإضافة بعض العناصر السبائكية كالكاربون بنسب معينة، فتتكون سبيكة الصلب، وهي أقوى ألف مرة من الحديد النقي. ويتراوح تكافؤ الحديد بين (2-) و(6+)، إلا أنه في أشهر حالاته يكون تكافؤه (2+) أو (3+). والحديد فلز معدني درجة انصهاره (١٥٣٥°م)، وكثافته (٧,٨٧)، ووزنه النوعي (٥٥,٨٥)، ويندر أو ينعدم وجود هذا الفلز في صورته الخالصة، وذلك لقابليته العالية للتأثر بالأكسجين، والهيدوجين، والرطوبة، وتعرضه للتآكل، ولهذا تكثر مركباته في الطبيعة (France, 1980: 44). ويوجد الحديد على هيئة خامات مختلفة، أهمها:

الماجنتيت Magnetite ويحتوي على نحو ٧٢٪ من وزنه من الحديد، ويتركب كيميائياً من أكسيد الحديد المغناطيسي (Fe_3O_4) (حسن ١٩٩٧م: ٦٤).

الهيماتيت Hematite ويتركب كيميائياً من أكسيد الحديد (Fe_2O_3)، ويحتوي على نحو (٧٠٪) من وزنه من الحديد (حلمي ١٩٩٤م: ٢٩٢ - ٢٩٤).

السيديريت Siderite، ويتركب كيميائياً من كربونات الحديد ($FeCO_3$)، ويحتوي على نحو (٤٨٪) من وزنه حديد (حسن ١٩٩٧م: ٦٦).

البيريت Pyrite، ويتركب كيميائياً من كبريتيد الحديدوز (FeS_2)، وتصل نسبة الحديد فيه إلى (٤٧٪)، وقد يحتوي على كميات من النيكل والكوبالت (حلمي، ١٩٩٤م: ٢٧٣).

الليمونيت Limonite، ويتركب من خليط من أكاسيد الحديد المائية وهيدروكسيدات الحديد، ورمزه الكيميائي $FeO(OH) \cdot nH_2O$ ، ويحتوي الليمونيت على نسبة من الحديد تتراوح بين (٢٠ - ٥٥٪) (جميل وعجم ١٩٩٨م: ١٨٨).

تتطلب عملية استخلاص الحديد من خاماته أفران خاصة، ودرجة حرارة عالية (France, 1980: 44). ولا يمكن استخلاص الحديد من خاماته، وخاصة الأكاسيد والكربونات، إلا عن طريق عملية الصهر، التي تتطلب درجة حرارة عالية، تصل إلى ($1530^\circ C$ تقريباً)، وهذه الدرجة لم يتم التوصل إليها إلا في القرن الرابع عشر الميلادي بعد بناء الفرن العالي. لهذا فإن تشكيل الحديد بالصب كان مستحيلاً في تلك الأزمنة الغابرة، ومن ثم كانت صلاحيته لصب المشغولات المختلفة أقل من النحاس والبرونز.

وتحتوي الآثار الحديدية على بعض الشوائب مع فلز الحديد، مثل: الفسفور، والسيليكا، والمغنسيوم، والكبريت وغيرها، التي تؤثر في خواص الفلز، ومن هذه الخواص أن فلز الحديد، ومن بين كل الفلزات التي استخدمت في المشغولات الأثرية، يملك أفضل الخواص الميكانيكية (France, 1980: 44). فيعمل الفسفور على تقسية معدن الحديد وتقويته، إلا أنه يجعله هشاً عندما يتعرض للطرق على البارد. أما الكبريت فيحدث الهشاشة فقط، في حين أن الكربون يعدّ العنصر الذي يشكل أكبر أهمية في سبائك الحديد، فهو يؤثر بشكل كبير على خصائص السبائك

المختلفة المتكونة، عندما يكون بتركيز يتفاوت بين صفر إلى ٥٪، أو أكثر (كرونين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٢٦٢).

ويتحد الحديد مع الكربون ليكون بعض السبائك المهمة، التي تصنف حسب كمية الكربون الذي تحتويه (France, 1980: 44). والمعروف أنه في عصر الحديد المبكر كانت السبائك تحتوي على نسبة من الكربون تتراوح بين (٠,٠٤٪ إلى ٠,١٪)، وفي العصر الروماني كانت سبائك الحديد مع الكربون تحتوي على الكربون بنسبة تصل إلى (٠,٠٦٪)، وقد تم الحفاظ على هذه النسبة خلال العصور الوسطى في صناعة الأسلحة (Stambolov, 1985:118). وهذه النسبة الصغيرة من الكربون هي التي تكسيه خاصية التصلد السابق ذكرها، بل إن نسبة الكربون هي التي تتحكم في خواص سبائك الحديد بدرجة كبيرة، مثل: درجة انصهارها وصلادتها (France, 1980: 44).

كما أن إضافة السيليكون إلى الحديد، ولو بنسبة تصل إلى (٠,٢٥٪)، سوف تشجع على عزل الجرافيت، ويزيد من صلادة الحديد ومرونته، في حين أن المنجنيز يزيد من صلادة الحديد، ويقلل من مرونته. أما النيكل فعند إضافته إلى الحديد (وخاصة بنسبة أعلى من ٣٦٪) فإنه يكسب الحديد معامل تمدد حراري منخفض. أما الحديد الذي يحتوي على كروم بنسبة ٤٪ فإنه يحتفظ بصلادته بفضل هذه النسبة حتى بعد التسخين إلى درجة الاحمرار، وعند زيادة نسبة الكروم إلى (١٢-١٥٪)، فإن الحديد يصبح من النوع المعروف بالصلب المقاوم للصدأ Stainless steel. أما الحديد الذي يحتوي على نسبة عالية من الفسفور، تزيد عن (٠,٥٪)، فإنه يصبح يجعل الحديد صلباً جداً، غير أنه يكون مسامياً وهشاً (Stambolov, 1985: 117).

٣،١،٢ التركيب الكيميائي للمواد الأثرية العضوية

Chemical Composition of Organic Archaeological Materials

طبيعة المواد العضوية الأثرية

المركبات العضوية Organic materials هي أكثر المركبات شيوعاً وانتشاراً، وقد سميت هذه المركبات بالعضوية في بداية القرن التاسع عشر نتيجة الاعتقاد بأن هذه المركبات لا تتكون إلا بفضل قوة

حيوية Vital Force في أعضاء الكائنات الحية (النباتية - الحيوانية)، وذلك لتمييزها عن المركبات غير العضوية ذات الأصل المعدني، مثل: الأملاح والمعادن والصخور..... إلخ.

وتتضمن المواد الأثرية العضوية كلا من:

أ) المنتجات الطبيعية ذات الأصل النباتي (مثل: الأخشاب، والورق، والمنسوجات النباتية، مثل: الكتان والقطن والقنب، ومنتجات الخوص... إلخ)،

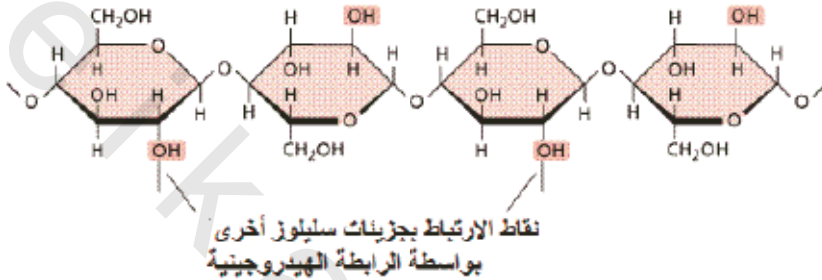
ب) المنتجات ذات الأصل الحيواني (مثل: الجلود، العظم، العاج، الريش... إلخ). وقد استخدم الإنسان هذه المواد كما هي دون تحويل أو معالجات من مصدرها الأصلي مثل الكثير من القطع الأثرية الخشبية، أو يتدخل منه لجعلها أكثر ملاءمة لاستخدامها مثل القطع الأثرية الجلدية. وإذا ما أردنا فهم طبيعة المواد الأثرية العضوية وتقنية تلفها، وتحديد طريقة ترميمها وصيانتها والمواد المستخدمة في هذا، فمن الضروري معرفة كيميائية تكوينها أو تركيبها الكيميائي وخصائص هذا التركيب.

مكونات المواد العضوية

معظم المواد العضوية المصنوع منها القطع الأثرية ليست مكونة من كتلة واحدة من الجزيئات الصغيرة Monomers، ولكن من جزيئات كبيرة Polymers ناتجة عن اتحاد الجزيئات الصغيرة، ويمكن أن ترتبط هذه الجزيئات بعضها ببعض في سلسلة طويلة لتكون أليافاً دقيقة Microfibrils والتي بتجمعها تكون أليافاً شعرية Fibrils ومن ثم تتكون وحدة إنشائية أساسية لمواد قوية وصلبة (كرونين وروبنسون ٢٠٠٦م: ٣٥٦). والمكونات الكيميائية الأساسية لهذه المركبات هي من السليلوز، والهيمسيليلوز، واللجنين، والبروتينات الحيوانية.

السليلوز Cellulose هو عبارة عن بوليمر طبيعي في صورة سكريات عديدة Polysaccharides، وهي السكريات التي تتألف من جزيئات بوليمر السكر وتحتوي على الكربون والأكسجين والهيدروجين، وهي مشتركة بين كل من النبات والحيوان. ونسبة الأكسجين والهيدروجين ١:٢ وهي نفس نسبتها في الماء (H₂O) (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٩٨). والوحدة الأساسية المفردة للسليلوز هي الجلوكوز Glucose، حيث يتكون السليلوز من سلسلة من جزيئات

عديدة من الجلوكوز ترتبط معا بروابط كيميائية مثل الرابطة الهيدروجينية. ويمكننا أن نتصور أن تركيب جزئي السليلوز هو $(C_6H_{10}O_5)_n$ ، حيث "n" عدد غير محدد الوحدات للجزء الواحد (الشكل ١٩). وجزء السليلوز طويل جداً وعرضه صغير، ويتجاور هذه الجزئيات تتكون الحزم الليفية الدقيقة Microfibrile، التي بتجمعها في أعداد هائلة تتكون الألياف Fibers.



الشكل (١٩). تركيب جزئي السليلوز.

وغالباً ما تبلغ وحدات الجلوكوز ٣٥٠٠ وحدة في السلسلة الواحدة، وفي بعض الأحيان تصل إلى ١٠,٠٠٠ وحدة أو أكثر، وقد تنخفض إلى ١٠٠٠ عندما تتغير السلسلة بالتميو Hydrolysis، أو بالأكسدة Oxidation، وهي تفاعلات تسبب كسر الوصلات البينية. ويمتاز السليلوز كما السكريات المعقدة الأخرى، بعدم قابليته للذوبان في الماء وعدم نفاذيته من خلال أغشية الخلايا. ويوجد في جزئي السليلوز ثلاث مجموعات هيدروكسيلية (كحولية) واحدة منها عبارة عن كحول أولي، والاثنتان الآخران عبارة عن كحول ثانوي، وهذه المجموعات الكحولية هي المسؤولة عن تفاعلات الكيميائية السليلوز، كعملية الأكسدة، أو النيترة وغيرها. ويعمل التجمع لما يقرب من ٤٠ سلسلة سيللوزية علي تكوين الليفة الأولية (البسيطة)، وهي تمثل أصغر قطر يمكن التعرف عليه تحت الميكروسكوب الإلكتروني Electronic Microscope ويكون حوالي ٣٥ أنجستروم* . وتنقسم طرز السليلوز حسب أطوال الجزئيات ودرجة ثباتها الى ما يلي (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١٠٠):

- ألفا سليلوز α Cellulose: وهو سيللوز ذو سلاسل ذات أطوال كبيرة مستقر مستديم مقاوم للتحلل.

* الأنجستروم = ١٠^{-١٠} متر أي واحد من عشرة مليار جزء من المتر.

- بيتا سليلوز: **B Cellulose**: سليلوز أقصر طولاً من ألفا سليلوز، يذوب جزئياً في محلول مائي ١٧,٥٪ من الصودا الكاوية ولا يذوب في الأحماض المخففة.
 - جاما سليلوز: **γ Cellulose**: وهو أقصر سلاسل السليلوز وضعيف جداً في كل المحاليل القلوية والأحماض المخففة وهو ذو وزن جزيئي منخفض يذوب في ١٧,٥٪ صودا كاوية.
 - والهيميسليلوز Hemicellulose أو النصف سليلوز من السكريات العديدة أيضاً، وهو بوليمر متجانس وغير متجانس Hetero-and homopolymers قصير نسبياً ومتفرع (مقارنة بالسليلوز)، أكثر تعقيداً من السكر وأقل تعقيداً من السليلوز، يوجد في جدران الخلايا النباتية. وهو يوجد في الأخشاب بنسبة ١٥-٣٤٪، ويقوم بدور مهم في ربط ألياف السليلوز ببعضها (الحديدي، ٢٠٠٢م: ٨٨).
 - اللجنين **Lignin**: وهو مادة عضوية تشكّل مع السليلوز قوام النسيج الخشبي للنبات. وهو بوليمر أو حمض عضوي معقد جداً وعلى درجة عالية من التبلر. وهو ثابت كيميائياً ويحيط ويتخلل ألياف السليلوز ويعطي لها الزيادة في الوزن. وترتبط جزيئات اللجنين مع جزيئات السليلوز من خلال روابط كيميائية تتم بنوع الماء أو إضافته بين الجزيئات، لذلك فإن اللجنين يقوم بدور مهم في تماسك وصلابة ألياف السليلوز مع بعضها (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١٠٢).
- ويمكن تقسيم المواد السليلوزية Cellulosic materials، التي توجد في نسيج المادة العضوية، إلى:
- الألياف اللينة، مثل: الكتان، والقطن، والليف، والقنب، والخيش، والألياف الصلبة، مثل: قنب مانيلا، والقنب الهندي والخروب. أما المواد السليلوزية الأخرى، التي يمكن العثور عليها في المواقع الأثرية، فتشمل: الورق والحنطة وقشور الذرة إلى جانب الحبوب والمكسرات ونوى الثمار.
- الراتنجات **Resins**: وهي سوائل معقدة غير ليفية تحتوي على العديد من بوليمرات الهيدروكربونات Hydrocarbons التي تفقد عبر الزمن البروتينات المتطايره، مما يتسبب في تصلبها، لذلك فهي مواد غير قابلة للذوبان في الماء.

الأصباغ Pigments: وهي المواد التي تكسب المادة لونها، فقد يحتوي الريش على كرومات دهنية حمراء أو صفراء Lipchromes، والصوف يحتوي على صبغة Melanin أسود أو بني (كرونيون وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٣٥٩).

البروتينات Proteins، وهي عبارة عن بوليمرات للأحماض الأمينية، وهناك ما يقرب من ٢٠ حمضاً أمينياً مختلفاً، ويمكن امتصاص الماء داخل البوليمرات الحمضية بواسطة الرابطة الهيدروجينية، ويتغير الامتصاص حسب تغير قيم الرقم الهيدروجيني (pH value). والبروتينات شائعة الوجود في كل من النيات والحيوان (كرونيون وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٣٥٨). والبروتين الحيواني، يمكن تقسيمه إلى نوعين رئيسيين هما:

١- **الكولاجين Collagen** الموجود في البشرة والجلد والعظام والقرون، وينشأ من تراكم طبقات البروتين خارج الخلية الحيوانية.

٢- **الكيراتين Keratin** الذي يعمل على تشكيل مواد مثل: الشعر، والقرون، والأصداف، والصوف، وهو عبارة عن تراكمات بروتينية تحدث داخل الخلية.

ويمكن لمعظم هذه المواد العضوية، إذا كانت في صورة مواد أثرية مدفونة في التربة، أن تتعفن وتحلل بمجرد خروجها إلى سطح الأرض، أو قد تتحول إلى غذاء لكثير من الأحياء الدقيقة والحشرات. ومع ذلك يمكن للكثير من هذه المواد العضوية أن ينجو من التحلل عندما يكون مطموراً في التربة أو في قاع البحر لفترات طويلة من الزمن، حيث تصل هذه المواد إلى حالة من التوازن أو التكيف مع الوسط المحيط الذي دفنت فيه. وعلى الرغم من حالة التفكك البطيئة التي قد تصيبها، إلا أن التحلل الهوائي الناتج عن وجود الأكسجين إلى جانب الحموضة يزيد من تعقيد حالة التفكك والتحلل في التربة أو في قاع البحر، كما يقوم حمض التانيك والأملاح المعدنية بجعلها أكثر سوءاً. وتعتمد حالة التفكك أيضاً على كمية المياه الموجودة بين الطبقات المكونة للبيئة المحيطة بالأثر، ولذلك يمكن أن تحافظ المواقع الأثرية الجافة، أو الصحراوية على معظم المواد العضوية، في حين أن المواقع الرطبة تحافظ على بعض المواد العضوية دون البعض الآخر. وفيما يلي دراسة للتركيب الكيميائي لعدد من المواد العضوية المكونة للمواد الأثرية.

أولاً: الأخشاب Wood

تقسم الأخشاب إلى قسمين كبيرين هما:

مجموعة الأخشاب الصلدة Hardwood التي تحتوي على الأوعية Vessels، أو المسام

ولذلك تسمى هذه النوعية من الأخشاب بالأخشاب المسامية Porous wood.

ومجموعة الأخشاب اللينة Softwood، التي تحتوي على القصيبات Tracheids وليس بها

أوعية، ولذلك تسمى الأخشاب غير المسامية Non porous wood.

الخواص الفيزيائية Physical properties

تعود الخواص الفيزيائية أو الطبيعية للخشب إلى تركيب وترتيب سطح الخشب الخلوي سواءً أكان خشباً مسامياً (صلداً) أو غير مسامي (ليناً). والتركيب الكيميائي ذو درجة أهمية بالغة أيضاً مع التركيب التشريحي في فهم طبيعة الخشب وإمكانية مقاومته للعوامل المتلفة. ويتألف الجدار الخلوي للخشب من مادة اللجنين Lignin ومادة السليلوز Cellulose. واللجنين هو المادة الرابطة الأساسية في الخشب، وهو مادة غير منفذة نوعاً ما (بيريجينيا، ٢٠٠٢م: ٤٣-٤٥). وتتكون خلايا الخشب من جزيئات كربوهيدراتية Carbohydrates معقدة من السليلوز واللجنين، ويعد السليلوز من أهم الجزيئات في مادة الخشب، إذ أنه يشكل النسبة الكبرى من بنيتها، حيث تتحد جزيئات السليلوز مع بعضها البعض لتكون الألياف الدقيقة، التي تعمل بدورها على تكوين الألياف الكبيرة التي تمنح جدران الخلية الخشبية المتانة والقوة (روجرز، ٢٠١٢م: ٦٩). وهناك خلايا جدرانها نفاذة للماء وذلك تبعاً لما تحويه من مسام. هذه المسام توجد على جدران الخلايا وتسمح بمرور الماء من الخلية إلى الخلية التي تجاورها، وتتم العملية فقط حينما يكون صمام المسام مفتوحاً. وحين تموت خلايا الخشب، تسد جميع المسام الموجودة في خلايا الخشب الجديدة، في حين تبقى تلك المسام مفتوحة داخل الخلايا القديمة. وهذا ما يخلق التناقض القائم على فكرة أنه رغم كون الخشب القديم أكثر كثافة من الحديث إلا أنه أكثر نفاذية للماء. كما توجد في الأخشاب مواد أخرى بنسب صغيرة، مثل: الراتنجات Resins والتانات Tanins وهي المواد الدابغة، والزيت العطرية، والسكريات، والشموع، والأملاح (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٥٧).

ومن الخواص الفيزيائية المميزة للأخشاب كثافته، والتي تعتمد على نسبة ما تحتويه من مواد راتنجية وماء، وكذلك على نسبة الألياف فيها وبارتفاع أي منهم. وعلى سبيل المثال فبارتفاع المحتوى المائي للأخشاب عن ١٠٠٪ سوف تتغير كثافة الخشب بالزيادة مما يزيد من وزنه. ولأن الخشب من المواد الهيجروسكوبية Hygroscopic فهو يمتص أو يفقد الرطوبة من الجو المحيط بناء على التغير في الرطوبة النسبية للهواء المحيط بالارتفاع أو الانخفاض. ومن الحقائق العامة أنه بامتصاص أو فقدان ماء الخشب فإنه ينتفخ أو ينكمش Shrink or Swell في حدود معينة (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٦٠). ويوجد الماء في الخشب على حالات ثلاث هي:

- ماء متحد مع جزئي السليلوز ولا يتأثر بالرطوبة الخارجية ومن ثم لا يؤثر على ظاهرة تمدد الخشب وانكماشه.
 - ماء حر داخل الخلايا Free water في فراغات الخلايا في الخشب الحي النامي (العصير الخلوي Cell sap).
 - ماء حر بيني في جدر خلايا الخشب وبينها.
- وهذا الماء الحر الذي يوجد بمقدار الخلايا أو داخلها أو بينها هو الذي يتعرض للنقصان أو الزيادة، هو العامل المسؤول عن تمدد الخشب وانكماشه. وتختلف نسبة الانكماش باختلاف أنواع الخشب عند جفافها، فهناك أخشاب تتميز بنسبة انكماش قليلة مثل الماهوجني، لذلك لا يتعرض للتشقق عند الجفاف، وأخشاب أخرى تتميز بنسبة انكماش كبيرة مثل خشب الزان والبلوط.

الخواص الكيميائية Chemical properties:

للخشب خواص كيميائية مميزة، منها أنه يقاوم الأحماض المتوسطة وكذلك محاليل الأملاح الحمضية، حيث يستعمل الخشب كأوانٍ لهذه الكيماويات. ولكن الخشب لا يقاوم ويتأثر بالقلويات، مثل: هيدروكسيد الصوديوم، وكذلك ملح كبريتيت الصوديوم Sodium (Na_2SO_3) sulfite فإنه يؤثر بشدة على اللجنين ويذبه وبالتالي يسبب انفصال خلايا الخشب، ولذلك تستخدم هذه القلويات في تحويل الخشب إلى لب في الصناعة. كما أن الكحولات ومعظم السوائل العضوية لا تؤثر على الخشب ولكنها تسبب انتفاخه وفقدانه قوة الانضغاط Compressive strength (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٥٧).

ثانياً: الورق والمخطوطات Paper and Manuscripts

طبيعة الورق

يصنع الورق من مصادر عديدة نباتية الأصل، مثل: خشب الأشجار، والحشائش، وقش الأرز، وقش القمح، والقنب، والكتان والبوص وغيرها من المواد النباتية. وتتركب هذه المواد النباتية أساساً من ألياف السليلوز، ويصاحبه بعض الشوائب أو المكونات الأخرى منها الهيميسليلوز واللجنين. والأول يقوم بدور مهم في ربط الألياف السليلوزية بعضها ببعض، ويؤثر في صناعة وفي جودة الورق المنتج. وقد يترك بعض من الهيميسليلوز في صناعة الورق عن قصد ولا يتم التخلص منه، ففي صناعة لب السلفيت (الطريقة الحامضية في تحضير لب الورق) فإن الهيميسليلوز يسهل عملية العجن في أثناء مرحلة الضرب، وذلك نتيجة وجود مجموعة الهيدروكسيل التي تحث الجزيئات على الإنجذاب نحو الماء، ويكون المعلق اللينفي الناتج مناسباً لصناعة ورق الزبدة ذي الملمس الزجاجي Glassine. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون نسبة الهيميسليلوز منخفضة؛ نتيجة المعادلة بمواد قلوية مساعدة بعد طبخ اللب، فإن هذا اللب يستهلك وقتاً وطاقة أكبر عند الضرب، ويكون الناتج ذي نسبة عالية من ألفا سليلوز. أما اللجنين فيوجد بنسبة قليلة أو كبيرة مع السليلوز، وتزيد نسبة اللجنين في النباتات المتقدمة في العمر بينما تقل في النباتات الخشبية الصغيرة أو العشبية. واللجنين هو أحد المواد الأساسية المغلفة للسليلوز.

صناعة الورق

لكي تتم صناعة الورق لابد من تحضير لبه أولاً، وهناك طرق مختلفة في تحضير اللب الورقي منها.

الطريقة الميكانيكية Mechanical method

وتستخدم لتحضير اللب من مبشور الخشب بطريقة ميكانيكية بحتة دون إضافات كيميائية معقدة. حيث تستخدم الألياف اللينة بصفة عامة، ثم تقطع وتطحن في طواحين خاصة في وجود تيار من الماء أو بخاره، ويمكن التحكم في درجة نعومة اللب بالتحكم في نوع وشكل أسطح الطحن، يعقب ذلك عملية غسيل وتصفية لللب لإزالة الأجزاء الكبيرة منه (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١١٢). غير أن اللب الناتج يكون غير نقي ويحتوي على الكثير من المواد والشوائب غير السليلوزية مثل اللجنين

والراتنج. لهذا يكون الورق المنتج من هذا اللب معتماً، ويمتص الماء بسهولة، ويتلف بمرور الوقت، حيث تتسبب تلك الشوائب في تحلله.

الطرق الكيميائية Chemical methods

وتستخدم للحصول على اللب عن طريق فصل الألياف عن بعضها والتخلص من المواد الشائبة بواسطة المعادلة الكيميائية للمادة المستخدمة كخام. ومن الطرق الكيميائية المستخدمة:

الطريقة الحامضية المسماة عملية الكبريتيت Sulphite process. وفيها يتم فصل ألياف السيليلوز وإزالة معظم اللجنين، حيث تعالج المواد النباتية في مراحل أو محامص تحتوي على هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$. وزيادة من غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) . يقوم ثاني أكسيد الكبريت الحر بتكسير اللجنين محولاً إياه إلى مادة ذائبة في الماء، كذلك يذيب بعض الهيمسليولوز، وثاني أكسيد الكبريت المرتبط في صورة بيكبريتيد يمنع تجمع اللجنين وبالتالي يسهل تكسيره بالعامل الأول (ثاني أكسيد الكبريت الحر). ويعرف اللب الناتج باللب الكيميائي Chemical pulp، يحتوي على نسبة عالية من المواد الرتنجية، ويتم تبيضه وتنقيته بإزالة ما به من شوائب ومواد لونية في حالة الرغبة في إنتاج ورق نقي مستخدم وعالي الجودة.

الطريقة القلوية أو طريقة الصودا الكاوية Soda process وفيها يتم إعداد اللب ثم تنقيته وتنظيفه بمحلول الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم ٤٪) الذي يذيب الدهون والراتنجات، وكذلك يذيب اللجنين، ولكن بصعوبة، وذلك بتفاعل المجموعة الفينولية في اللجنين مع الصودا الكاوية لتكوين ملح مع الصوديوم قابل للذوبان في الماء. واللب الناتج يتميز بالألياف القصيرة، والورق الناتج يكون ضعيفاً ولكن بدرجة عالية من الليونة ودرجة عالية من التشبع، مع سطح ناعم (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١١٣).

طريقة الكبريتيات Sulphate process وفيها تستخدم الصودا الكاوية (NaOH) مع كبريتيد الصوديوم (Na_2S) في سائل طبخ اللب، وبالتالي يقلل من نسبة تكسير ألياف السيليلوز. وخلال هذه العملية يتم إزالة كميات كبيرة من الزيوت والأصبغ الموجودة في اللب وتحلل مائي للجنين. وتسمى هذه الطريقة بطريقة الكبريتيات وذلك لإضافة كبريتات الصوديوم إلى اللب بعد تحاية

التفاعلات لمعادلة الوسط. ونتيجة هذا التعادل تختزل الكبريتات إلى كبريتيد يستعمل مرة أخرى مع شحنة جديدة من خام الورق، ويمتاز اللب الناتج بطول أليافه (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١١٣). وقد تضاف القلقلونية* إلى لب الورق مع مواد أخرى، مثل: الألوان بعد إذابتها في الماء البارد أو الساخن حسب نوع المادة الملونة وقابليتها للذوبان. ومن أمثلة المواد الملونة الأترامارين والأزرق البروسي، والجير وأكسيد التيتانيوم، ومواد طاردة للماء مثل الروزين (القلقلونية) على هيئة محلول صابوني الشكل يتم تحضيره بطبخ القلقلونية أولاً مع الصودا الكاوية أو كربونات الصوديوم، ثم تخفيفها بالماء وذلك لإكساب الورق المنتج مناعة ضد التشرب للمحاليل. وتضاف أيضاً مواد مثبتة كالشبة، ومواد مائنة مثل النشا والغراء، وبعض الأصماغ المخلفة، وذلك لتحسين خواص الورق ليصبح ملائماً لأغراض الطباعة والكتابة. وقد تضاف إليه مواد تحميل تزيد من ثقل الورق ونعومة سطحه، مثل: الصلصال الصيني، وأكسيد الزنك، وكبريتات الكالسيوم (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١١٨-١١٩).

ثالثاً: الجلود Leather

تحتفظ المتاحف بالعديد من المشغولات أو المصنوعات الجلدية منها أوعية حفظ الموائع كالماء واللين كالقربة، وأوعية حفظ الأمتعة كالجراب، ومصنوعات للزينة والملابس، مثل: الأحذية والحقائب، وهناك من الآلات الموسيقية التي صنعت من الجلد وجلود المصاحف وغيرها من المشغولات، جميعها قد دبح بأساليب ومواد مختلفة وصنع بطرق مختلفة وزخرف بأساليب ومواد عديدة.

وتشمل المنتجات الجلدية الأثرية المخطوطات المصنوعة من الرق أو البارشميت ومنها ما كان يستخدم لأغلفة الكتب أو المشغولات الأخرى المختلفة، مثل: الأحذية، والقرب، وأغمدة السيوف، والأربطة، والموميوات، وأوتار الآلات الموسيقية التي تعتمد جميعها على الألياف البروتينية. والبروتين هنا من نوع الكولاجين Collagen، ويتكون من أربعة أنواع من الأحماض الأمينية. وسلسلة البوليمرات الحمضية للكولاجين تتولب مع بعضها لتكون جذوراً ليفية تنضم لبعضهما في شكل حزم لتكوّن أليافاً طويلة. وتتكون الأنسجة الجلدية من هذه الألياف دون

* مادة راتنجية مكونة من مواد حمضية وأخرى غير حمضية.

الحاجة لتكوين بنية خلوية في البداية مثل ما يحدث بالنسبة لألياف السيليلوز. ويتكسر الكولاجين ويصبح في شكل وحدات أصغر من الجيلاتين بواسطة التميؤ، بشكل سريع جداً في درجات الحرارة المرتفعة، وفي وسط يكون تركيز الهيدروجين فيه أقل من ٦،٥ (pH < 6.5)؛ عند تعرضه لدرجة حرارة تتراوح بين ٥٨-٦٨°م فإن شكله يتغير فينكمش بمعدل ثلث طوله الأصلي. تستخدم بعض الحشرات، مثل: خنفساء المغاراش وأنواع من البكتيريا الكولاجين كمصدر للغذاء (كرونين وروبنسون، ٢٠٠٦م: ٣٩٦).

والبروتينات التي تحتوي على عناصر الكربون والهيدروجين والنتروجين والأكسجين، وجميعها تقريباً يحتوي على الكبريتين، ويعدّ النتروجين المكون المميز والبدال على البروتين، كما أن بعضها يحتوي على عناصر إضافية، مثل: الفوسفور والحديد والزنك والنحاس واليود والمنجنيز وعناصر أخرى، ولا يوجد أيّ من هذه العناصر الأخيرة "باستثناء اليود" كمكون للأحماض الأمينية. والبروتينات مركبات غير متطايرة، الغالبية العظمى منها لا يذوب في المذيبات العادية، وتعطي كل البروتينات الذائبة في الماء تقريباً محاليل غروية Colloidal Solutions.

والجلد مادة عضوية معقدة كيميائياً وتركيبياً، وبصفة عامة يمكن القول بأن جلود الثدييات

Skin Mammalian تتركب تشریحياً من ثلاث طبقات هي:

- الطبقة السطحية المعروفة بـ "الأيبيدريما" Epidermis.
- المنطقة الرابطة بين الأبيدريما والديريما تتكون من منطقة رقيقة تقع بين الخلايا القاعدية وسطح الديرما، وتنتج جميع تراكيب طبقة الأبيدريما مثل الشعر وحببيات التلون من خلايا الطبقة القاعدية.
- طبقة أم الجلد أو "الديريما" Dermis، وهي الطبقة المستخدمة من قبل صانعي الجلد والدباغين، فتتكون من حزم من ألياف بروتينية متشابكة ذات أطوال وأحجام مختلفة وتعدّ شبكة الألياف هي مصدر قوة الشد العالية للمنتجات الجلدية. وغالباً ما يجد الدباغون أنفسهم مرغمين على إزالة دهون وشحوم تلك الطبقة حتى يتفاعل الجلد الخام ويتأثر بمواد الدباغة المستخدمة للحصول على منتج جلدي جيد في مظهره، خصوصاً عند عمل الرق، وذلك حتى يسهل تطبيق الأحبار والألوان على سطحه.

• **الطبقة اللحمية أو "الهيوديرما" Hypodermis.** وهي الطبقة الخارجية، وعادة ما تكون رقيقة جداً في السمك إذا قورنت بسمك طبقة الديرما أسفلها. وهي عبارة عن طبقات من الأنسجة تمتد حتى النسيج العضلي، وفيها يكون الجلد أقل كثافة وذا طبيعة ليفية ومن الممكن أن تكون دهنية. ونظراً لأن هذه الطبقة غير ملائمة لصناعة الجلد لذا يتم إزالتها قبل الدباغة وهي تتكون من كتلة مستمرة من خلايا قاعدية حية تسمى خلايا كيراتينية Keratinocytes. ولقد انقسمت طرق دباغة الجلود قديماً إلى:

(أ) **دباغة نباتية:** وتتم باستعمال مادة التانين (أو حمض التانيك Tannic acid، حيث تتحد هذه المادة مع كولاجين الجلد وتحل محل الماء المتصل به كيميائياً، فيصبح الجلد الناتج ذا لون بني فاتح إلى بني محمر (حسب النبات المستعمل) وذا ألياف قوية ومتماسكة، وناعمة الملمس وطاردة للماء ولا تتأثر به.

(ب) **دباغة معدنية:** حيث استعملت أملاح معدنية مثل: أملاح الزركونيوم والإلدهيدات، ينتج عنها جلد ذو لون أبيض شمعي مقاوم للعفن ومقاوم للتلف بالماء، ولكن من عيوبه أنه لا يمكن لصقه باللواصق التقليدية (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٤٩).

وينبغي في هذا السياق أن نشير إلى بعض أنواع الجلود التي استعملت قديماً مثل: الرق أو البارشميت، وهما مرادفان لمنتج واحد هو جلد مجهز للكتابة عليه وان كان البعض يرى أن الرق هو نوع رقيق من البارشميت، ويصنع من جلود الماعز والغزلان. ومنها ما كان يستخدم لأغلفة الكتب أو المشغولات الأخرى المختلفة. والقضيم نوع آخر من أنواع الجلود التي استخدمت قديماً، وقد استعمل كجلد كتابة في العصر الإسلامي، وكان يصنع من جلد الماعز والغزلان. وعرف منه نوعان، أولهما القضيم الجاف: وهو جلد صلب يتم تحضيره باستعمال ماء الجير على غرار طريقة تحضير البارشميت في العصور الوسطى. والقضيم جلد لين تم تحضيره في العصر العباسي باستعمال التمر المخمر.

رابعاً: المنسوجات Textiles

تصنع المنسوجات من ألياف مواد نباتية، مثل: الكتان أو القطن أو الجوت، أو من ألياف ذات أصل حيواني، مثل: ألياف الصوف، والوبر، والشعر، والحرير الطبيعي الذي يستخرج من شرايق دود القز أو أي مصدر حيواني آخر. وتتميز المنسوجات بالمرونة والمتانة، إلا أنها تختلف في ذلك حسب نوعية المنسوجات وطبيعة الألياف. ويقاس مدى التلف الذي يحدث في المنسوجات بقيمة ما يفقده النسيج من المرونة والمتانة، ويتم هذا بقياس قوة المقاومة للشد والطي والتمزق للنسيج (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٩٣).

والمنسوجات الأثرية كانت تصنع يدوياً أو بالآلات بدائية بسيطة. وقد يشتمل الثوب الأثري على ألياف نباتية الأصل، وألياف حيوانية الأصل، وهناك منسوجات أثرية موشاة، أو مطرزة بالخياطة المعدنية من الذهب والفضة أو مرصعة بالأحجار الكريمة. وعادة ما تعاني المنسوجات الأثرية من الضعف والتلف والتحلل مما يتطلب التعامل معها بحرص بالغ ومعالجتها وصيانتها إذا تطلبت حالتها ذلك.

ومن المواد أو الخامات الطبيعية التي صنعت منها المنسوجات الأثرية:

- **الكتان Linen**

وهو من الخامات النباتية التي استخدمت في العصر الفرعوني، وكانت أليافه تحضر من سيقان نبات الكتان بعد عملية تعطين بوضع سيقان النبات في صورة حزم في الماء لعدة أيام حيث تتحلل أنسجة ساق النبات الرخوة بواسطة بكتيريا العفن. وتتميز ألياف الكتان بقوتها ومتانتها العالية، وترجع هذه القوة إلى وجود ألياف عرضية تربطها ألياف طولية، وتلتصق ألياف الكتان مع بعضها بشدة بواسطة مواد بكتينية حيث يحتوي التركيب الكيميائي للكتان على: ٧٠-٩٠٪ سليلوز، و ٦-٨٪ ماء، وقليل من المواد البكتينية والشمعية (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٩٤).

- **القنب Hemp**

ويشبه الكتان، ويحتوي على نسبة السليلوز الموجودة في الكتان، غير أنه يحتوي على نسبة أعلى من الماء (أكثر من ١٢٪ ماء).

• الجوت Jute

وهو يشبه الكتان أيضاً ولكنه يحتوي على مادة السليلوز متحدة مع اللجنين بالإضافة إلى مادة الهيميسليلوز.

• القطن Cotton

وتوجد منه أصناف متعددة، وتنمو أليافه في شكل شعر على بذوره، وتختلف هذه الألياف من نوع إلى آخر. وتحتوي ألياف القطن على ٩١٪ سليلوز، و٨٪ ماء، و٣-٥٪ مادة شمعية.

• الصوف Wool

يتركب من مادة الكيراتين، وهي من المواد البروتينية التي يدخل في تركيبها الكبريت. وتختلف الخواص الطبيعية وأحياناً الكيميائية للصوف باختلاف سلالة الغنم التي أخذ منها الصوف وأحياناً باختلاف موقع الألياف في الفروة الواحدة.

• الحرير Silk

يفرز الحرير من غدتين في رأس دودة القز تنتج خيطين ملتصقين يتكبان كيميائياً من مادة الفيرين البروتينية، ويحاطان بمادة صمغية هي السرسين الصمغية (وهي مادة زلالية) تلتصق الخيوط المزدوجة ببعضها، وتجعلها صلبة وخشنة الملمس، وتخفي لمعانها، ولا يحتوي الحرير الطبيعي على الكبريت في تركيبه.

وعادة تصبغ الألياف النسجية بصبغات طبيعية، منها ما كان يستخلص من أكاسيد معدنية من صخور طبيعية تحتوي على أملاح الكروم أو النحاس وغيرها. وصبغات حيوانية المصدر، مثل صبغة القرمز التي تستخلص من إناث الحشرات القرمزية وتعرف باسم *Coccus ilicis*، وهذه الحشرات توجد على شجر البلوط. وهناك صبغات نباتية المصدر، مثل: صبغة النيل، وهي صبغة زرقاء تستخلص بتخمير أوراق شجرة النيل المعروفة باسم *Isatis tinctoria*، أو نبات النيل الهندية *Indigofera tinctoria*. وأوراق شجرة النيل تحتوي على مركب جلوكوزيد النيل الذي يعرف باسم انديكان (Indian) Glucoside، وهذا المركب بالتخمير يعطي اندوكسيل Indoxyl الذي يتأكسد ليعطي صبغة النيل الزرقاء المعروفة. وهناك صبغة القوه وهي صبغة حمراء تستخلص من

جذور نبات القوه، وصبغة القانت وهي صبغة حمراء تستخرج من جذور نبات حناء الغول (عيد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٩٨-٢٩٩).

خامساً: العظم والعاج Bone and Ivory

يتكون كل من العظم والعاج من عنصرين أساسيين:

الأول ذو طبيعة عضوية وهي المادة التي تشكل وتؤلف نسيج العظام، وهذه المادة تعرف بـ Osina، وهي مادة عضوية هلامية غير قابلة للذوبان في الماء.
والثاني ذو طبيعة غير عضوية (فوسفات الكالسيوم مع الكربونات وفلورات الكالسيوم).
ويعمل العنصر العضوي إلى التحلل نتيجة لتأثره بعوامل الرطوبة في حين يتحلل العنصر غير العضوي بسبب تماسه مع الأوساط الحمضية الموجودة في التربة.