تأثير الضوء على المقتنيات الاثرية العضوية

الباحث: أسامة سعد إبراهيم
جامعة سامراء – كلية الآثار

أ. م. د. ابراهيم حسين خلف
جامعة سامراء – كلية الآثار

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة مصادر الضوء وأنواعه كالأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية فضلا عن الضوء المرئي والاشعة السينية وتأثير كل من الأشعة المارة الذكر على الآثار العضوية كالجلود والمنسوجات والورق والعظام والعاج واللوحات الزيتية وما تحويه من إصباغ وألوان حيث تتميز هذه المواد المارة الذكر بكونها مواد قابلة للاشتعال وحساسة للضوء فضلا عن كونها تتأثر بالكائنات الحية ، حيث يتناسب الضرر الحاصل تناسبا عكسيا مع طول الموجة الضوئية فكلما كان الطول الموجي قصيراً كلما كان الضرر أكثر قابلية في إحداث الضرر وذلك لاحتوائه على طاقة عالية قادرة على تكسير جزيئات بعض الصبغات والألوان والسيليلوز والبروتينات ومما يساعد في عملية التكسير التفاعل مع الاوكسجين الموجود في الجو.

The effect of light on the archaeological organic collectibles

Assis. Prof. Ibrahim Hassein Khalaf

Searcher: Ousamah Saad Ibrahim

University of Samarra
College of Archaeology

Summery

This research aims at studying the sources of the light and its types such as infrared, Uv as well as visible light and X-ray and the impact of each of the mentioned radiation on the organic archaeology such as leathers, textiles, papers , bones, ivory and oil paintings and what they contain: pigment colors. These materials are characterized by being flammable, light sensitive and affected by living things, as the damage is prepotional inversely to the light of the optical wave; the shorter the wave lenghth is ,the greater the damagye is likely to cause more damage , because it contains high energy which is capable of cracking the molecules of some pigments, colors cellu and protein . The interaction with Oxygn in the atmospteve also cause the cracking process.

الباحث: أسامة سعد إبراهيم

المقدمة:

إن المادة الأثرية المضاءة حساسة للضوء ولابد إن تتلف عاجلا ام آجلا حتى تختفي نهائيا وقد تستمر هذه العملية على مدى عدة سنين حسب المدة وكثافة التعرض وطراز الإشعاع ونوع القطعة المعروضة وطبيعتها ويتحكم في مقدار الضرر الذي يحدثه الضوء في مثل هذه المواد عاملين أساسيين هما نوع الضوء وكميته وتحسب (باللوكس) وأيضا مقدار فترة التعرض للضوء وتحسب (بالساعة) ولحساب مقدار الضوء الذي تتعرض له قطعة أثرية ما يضرب عدد اللوكسات في عدد ساعات التعرض .ويمكن القول إن الأشعة فوق البنفسجية وكذلك الموجات القصيرة من الضوء المرئي هي الأكثر ضرر على الاثار مثل اللون الازرق ،وذلك بسبب طاقتها العالية ، وتطرق البحث إلى أنواع الأجهزة التي تستخدم في تنظيم وقياس الضوء داخل صالات العرض وطريقة عملها ومنها جهاز(اللوكسميتر) وجهاز الضوء البسيط وجهاز (ميكتارون) .

والجهاز الاخير هو أفضل الأجهزة المستخدمة داخل صالات العرض حيث ان الضرر الذي تتعرض له المجموعات المتحفية داخل صالات العرض بسبب الضوء كبير جدا لذا يجب التحكم بشدة الإضاءة لحماية المقتنيات الأثرية داخل صالات العرض .

أولاً: مصادر الضوء وأنواعه

من اجل اعطاء فكرة عن انواع ومصادر الضوء التي تتعرض لها المقتنيات الاثرية العضوية يمكن تقسيمها الى عدة انواع :

أ-الأشعة تحت الحمراء (IR)

تُعَد الأشِّعة تحت الحمراء إحدى أقسام الضوء العادي بالنسبة لأطوال موجاتها . وهي غير مرئية حيث تكون موجاتها أعلى من ٧٦٠٠ أنجستروم (ْA 7600 morthan) [١] . وهي وحدة قياس أطول حزم الموجات الضوئية وتساوي (٨-١٠) سنتيمتر . وتعد أكبر حقل من حقول الطاقة الشعاعية وتقاس أشعتها الحرارية بالسعرات كما مُبين في مخطط رقم (١) [٢] . وتعطيها المصادر الضوئية اشعة يزيد طولها عن (720 n.m) [٣] . وهي مثل ضوء الشمس والمصادر الضوئية الصناعية وتكون موجاتها طويلة ولها تأثير كبير في زيادة شدة الحرارة [٤] .

ب-الأشِّعة فوق البنفسجية [UV]

هي إحدى أقسام الضوء العادي الثلاثة من الحزم الضوئية بالنسبةِ لأطوال موجاتها وهي غير مرئية حيث يبلغ طول موجاتها من (ْA 4000 -3000) كما مُبّين في مخطط رقم (١)[٥].

وإن الشمس والمصادر الضوئية الصناعية تشُع كمية معينة من الشعاع غير المرئي (IR, UV) وضوء الأشعة [UV] هو الذي يُخشى منه نَظراً لتأثيراته الاسبكتروكيميائية spectro- chemical [٦]. وإن الأشِّعة [UV] ليست سوى جزء ضئيل من مصادر الضوء العادي (أقل من ١%) لكنها ذات تأثير فعّال سرعان ما يظهر على المواد الحسّاسة لاسِيَما العضوية [٧]. وتحتوي على أقل قدر من الطاقة نادراً ما توجد في الضوء العادي ، ويرجع ذلك إلى إن هذه الأشِّعة تُمتص بواسطة الهواء الجوي في حالة ضوء الشمس وبواسطة زجاج اللمبات في الضوء الصناعي ، وتوجد في ضوء الشمس المباشر وغير المباشر وفي لمبات الفلورسنت العادية وكذلك في اللمبات الوهجية مثل التنجستون ، والهالوجين فهي تحتوي على كمية قليلة منها.

ج-الضوء المرئي (Visble)

هو آخر نوع من الحزم الضوئية من تقسيم الضوء العادي بالنسبة لأطوال موجاتها حيث يتراوح طول موجاتها بين 7600-4000 أنجستروم كما موضَّح في مخطط رقم (١) وجدول رقم (٢) [٨] . وتستطيع العين البشرية التحسس بها والذي يشّكل جزء فقط من ضوء الشمس ، أو الفلورسنت أو المصباح الاعتيادي [٩] . وهو أيضاً ضار ولكن بدرجة أقل من الأشِّعة فوق البنفسجية ولذلك يجب التحكم بالإضاءة وهي تُقاس بوحدة إضاءة اللوكس لكل قدم مربع حيث إن:

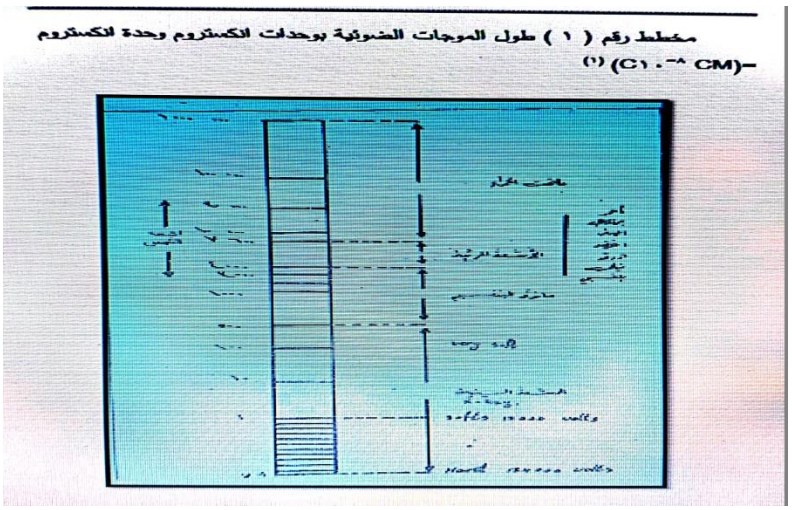
-10/ 4X = approx one lumen per square foot [١٠] .

إن طول موجاته من 400-760 نانوميتر وهي مسؤولة عن الرؤية وتزيد من معدل التغير الكيميائي الناتج[١١]. وإن كل مصادر الإضاءة سواء كانت طبيعية أو صناعية تحتوي على أشِّعة مرئية [١٢] . ويكون ضوء الشمس أثناء الشروق وساعة الظهيرة غني بالأشِّعة المرئية ذات الأطوال الموجية المتعددة[١٣] .

ح-الأشِّعة السينية (X-Ray)

اكتشفها العالم رونتجن عام ١٨٩٥ م وأطلق عليها أشِّعة X-Ray ، وهي أشِّعة كهرومغناطيسية لها طول موجي قصير جداً وتسير في خطوط مستقيمة وتؤثر على الأفلام الحسّاسة بنفس تأثير الضوء العادي [١٤] . وبالإضافة إلى استخداماتها في التحليل من خلال تفلور وحيود الأشِّعة السينية للتعرف على عناصر ومعادن الفخار، تُستخدم أيضاً الأشِّعة السينية في عمليات التصوير للفخار للتعرف على الشروخ والتشققات للفخار من خلال X-ray radiography . ويمكن استخدامها لدرء عمليات التزييف من خلال مكونات الفخار الأثري من خلال تصوير الفخار للأشِّعة السينية تِبَعاً للدراسات التي قام بها D-A-Bradley عام2000[١٥].

ويُستخدم التصوير بها للتعرّف على وضع التراكيب الصناعية المستخدمة في تجميع أجزاء الأثر وهذا في حالة صعوبة الفصل أو إمكانية تعرّض أجزاء من هذا التركيب للضرر يكتمل الترميم بأسلوب لا يستلزم الفصل [١٦] .



جدول رقم (٢) يوضح طول الموجة بالإنكستروم [١] .

الاشعاع	طول الموجة(A)
X	١٠-٠,٠١
فوق البنفسجية	٤٠٠٠-١٠
مرئية	٧٠٠٠-٤٠٠٠
تحت الحمراء	١٠٠٠٠٠-(ملم٠,١)٧٠٠٠

ثانياً: الاثار العضوية المعرضة للتلف

الآثار العضوية وهي بصورة بسيطة المواد المشتقة من أصل نباتي أو حيواني ، ولكن التعريف الأكثر دقة هو إن المواد العضوية هي المواد التي يكون تركيبها مبني على الكربون أساساً [١٧] . وإن أهم خواص المواد العضوية بأنها مواد قابلة للاشتعال ، وحساسة للضوء فضلاً عن كونها تتأثر بالكائنات الحية [١٨] . والمواد العضوية متنوعة منها الورق، والمنسوجات والرق والجلد، والألوان، ومعظم الاصماغ ، ومعظم المواد الرابطة الأخشاب بأنواعها ، لفائف البردي ، والريش ، عظام ، عاج ، الرسوم التصويرية ، واللصوق الجدارية ، والرسوم المائية ، والتصاوير الفوتوغرافية والوثائق[١٩] . ويتناسب الضرر الحاصل تناسباً عكسيا مع طول الموجة الضوئية فكلما كان الطول ألموجي قصير كلما كان الضوء أكثر قابلية في أحداث التلف [٢٠] . وذلك لاحتوائه على طاقة عالية قادرة على تكسير جزيئات بعض الصبغات والألوان والسليلوز والبروتينات ، مما يساعد في عمليات التكسير التفاعل مع الأوكسجين الموجود بالجو [٢١] .

ويمكن أن نفترض أن كل ضوء ، سواء كان مرئياً أو غير مرئي ، طبيعي أو صناعي ، يسبب التلف . وإن المادة الأثرية المضاءة والحساسة بالنسبة للضوء لابد أن تتلف عاجلاً أم آجلاً ثم تختفي نهائياً . وقد تستمر هذه العملية على مدى عدت سنين أو قرون حسب المدة ، وكثافة التعرض ، وطراز الإشعاع ، ونوع القطعة المعرضة وطبيعتها ، ويتحكم في مقدار الضوء الذي يحدثه الضوء في مثل هذه المواد عاملين أساسيين هما نوع الضوء وكميته وتحسب باللوكس وأيضاً مقدار فترة التعرض للضوء وتحسب بالساعة ولحساب مقدار الضوء الذي تتعرض له قطعةٌ أثريةٌ ما يُضرب عدد اللوكسات في عدد ساعات التعرض [٢٢] .

وترجع خطورة الإشعاع الشمسي إلى احتوائه على العديد من الإشعاعات مثل الأشعة فوق البنفسجية التي تؤدي إلى تلف المواد العضوية بالإضافة إلى الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء والموجات الطويلة [٢٣] . ويمكن القول أن الأشعة فوق البنفسجية وكذلك الموجات القصيرة من الضوء المرئي هي الأكثر ضرراً على الآثار مثل اللون الأزرق وتسبب أيضاً أضرار

متفاوتة على البقايا الأثرية ولكن الأشعة تحت الحمراء بخلاف التأثير الحراري ليس لها ضرر أخر يذكر [٢٤] . وأن زيادة الأشعة فوق البنفسجية والضياء الواضح لا يعملان فقط على تغير الأصباغ في اللوحات الفنية ذات الألوان المائية والزيتية وتغيير مظهر الخشب وإنما يتسببان بالتلف لكل المواد العضوية [٢٥] .

ويمكن القول أن كل أنواع الضوء ممكن أن تسبب بحدوث بهتان ألوان الورق واصفرارها فأنه من الضروري أن لا تعرض الصور والمخطوطات لضوء الشمس المباشر ويجب أن يكون معلوماً أن اضمحلال الألوان على الورق هو ذات ذو طبيعة عكسية (لا يمكن استرداده) والضوء يزيل الألوان على الورق والجلد والقماش ويسبب اضمحلال ألوان المطبوعات والخرائط ويزيد من سرعة التحلل الكيميائي كما في (جدول رقم ٤).

جدول رقم (٤) جدول الطيف الضوئي [٢] .

نمر الأشعة السينية X	اشعة فوق بنفسجية قصيرة UV	اشعة فوق بنفسجية متوسطة UV	اشعة فوق بنفسجية دانية	اشعة تراية	فوق الضوء واشعة IR	اشعة مكرونية وميكروويف
	فوق الضوء					
	احمر		٧٨٠ نانومتر			
	برتقالي		٦٥٠			
	اصفر		٦٠٠			
	اخضر		٥٨٠			
	ازرق		٥٣٠			
	بنفسجي		٤٢٠		تاثير كيماوي	
	فوق البنفسجي الدانيا		٤٠٠			
			٣٠٠			

حيث يبين الطيف الضوئي ويزيد من سرعة التحلل الطبيعي في جميع المواد العضوية[٢٦]، فالورق العادي المصنوع من الخشب يتحول للاصفرار ويصبح هشاً بالتعرض للضوء أكثر من الورق المصنوع من سليلوز نقي لذلك بعض المواد أكثر تأثر من غيرها [٢٧] . أي من خلال معرفة مكونات الورق يمكن لنا معرفة بنية الورق وتحديد أنواعه المختلفة من الألياف الموجودة فيه فقد يحتوي على سليلوز نقي من غير شوائب أو على شيء من لب الخشب (اللجنين) والذي يعتبر هذا اللب من الشوائب العضوية [٢٨] . ويمكن التعرف عليه من خلال استعمال المجهر الإلكتروني أو بالوسائل الكيميائية ، بإضافة قطرة من الفورغلوسين في حامض الهيدروكلوريك مباشرة فوق صفيحة الورق فأن ظهر لون وردي أو بنفسجي يشير إلى وجود اللجنين [٢٩] .

إن المكوّن الأول للألياف التي يتكون منها الورق بجميع أنواعه هو سيقان أشجار المملكة النباتية فهناك لب الخشب أو جذوع الأشجار وهو المادة الأساسية الأولى التي تدخل في صناعة الورق مصادر خشبية ، وهنالك مجموعة نباتات الألياف مثل القنب والكتان وسيقان

النباتات النخلية مثل سيقان الشعير والقمح ، وأوراق الغاب والحلفا [٣٠] . وبما أن اللجنين شائبة من الشوائب التي توجد في بعض الأوراق خاصة المصنوعة من لب أخشاب أشجار متقدمة في العمر ، ونظراً لما لها من دور في تصلب وتلوّن الأوراق مما يقلل من استدامتها [٣١] . ويعد اللجنين ثالث المكونات النباتية بعد السيليلوز والهيميسيليوز حيث تتراوح نسبته بين (١٥– ٣٥%) من وزن لب الأخشاب المعمرة على أساس الوزن الجاف وعادة يوجد اللجنين مرتبطاً بالسيليلوز مكوناً مركبات معقدة من اللجنوسيليلوز [٣٢].

واللجين هو المركب الذي يتسبب في تغيير لون الورق والتي تكون أجساماً بنية اللون تظهر آثارها فوق سطحه عند تعرضه لتأثير ضوء الشمس والأشعة فوق البنفسجية والحرارة [٣٣] . ووجوده في تركيب الورق بمرور الوقت يحدث تفاعلاً كيميائياً فتظهر بقع اللجنين البنية التي تنتشر تدريجياً حتى تغمس سطح كل الورقة ويصحب هذا الانتشار جفاف وتقصف الورق وطمس تام للكتابة وأخيراً دمار تام للورقة [٣٤] . وعندما يتعرض الورق وبخاصة المصنوع بطريقة يدوية من الخشب المطحون إلى تأثير أشعة الشمس وخصوصاً الأشعة (UV) أو إلى درجات حرارة عالية أو للشوائب الغازية الجوية فأن لونه يتغير إلى اللون البني أو الأحمر المائل إلى الصفرة ، أو يؤدي إلى تكوين أجسام بنية اللون تظهر على سطح الورق في هيئة بقع وهذا يؤدي الى التغيرات الكيميائية التي تطرأ على اللجنين وغيره [٣٥] .

وألياف السليلوز عموماً تتأثر بالضوء وكذلك مواد التبييض القلوية وهنالك عاملين يؤثران على حفظ الورق كالتركيب الكيميائي للورق وهو ناتج عن طريقة تصنيعه ومكوناته وكذلك البيئة المحيطة، والتخزين السيئ يُمكن أن يُتلف الورق الجيد خلال عدة سنين أو حتى أسابيع فقط ومن الصعب إيقاف تأثير الأكسدة الذاتية التي من مظاهرها اسوداد وتقصف الورق والأكسدة الذاتية للأصباغ الداخلية في تركيبه المصنوع آلياً [٣٦] .

وأن تأثير ضوء النهار يجب أن يؤخذ في الاعتبار ، إذ إن ضوء الشمس يتسبب في تغيير ألوان الصور ونسيج المعلقات والفراء والريش والملابس [٣٧] . وإن الموجات الضوئية غير المرئية مثل الأشعة فوق البنفسجية تُعد من العوامل الضارة لكثير من المواد والألوان وبعض أحبار الكتابة [٣٨] . كما تؤثر بشكل فعّال على المواد الحساسة لا سيَما العضوية ، فأصباغ النسيج والألوان العضوية تزول في حين تصبح سوائل مزج الألوان والورنيش داكنة اللون [٣٩] .

وإن الإضاءة الطبيعية من الصعب الاعتماد عليها [٤٠] . حيث إن ضوء الشمس المباشر يتلف المواد اللاصقة المغطية لسطح الورق والألوان والأحبار تصبح باهته مما يسبب اصفرار الورق الأبيض ومن جهة أخرى فإن التأثير الحراري يفقد الورق رطوبته الداخلية وبالتالي يفقد ليونته [٤١] .

ومن العناصر النشيطة في ضوء الشمس الأشعة المرئية وفوق البنفسجية [٤٢] . وإن التغير اللوني والتلف السطحي ناتج من الأشعة المرئية والأشعة فوق البنفسجية أي إن المشكلة التي تواجه مرمّمي المتحف هي انه لا يمكن الاستغناء عن الضوء المرئي داخل صالات العرض مما يساعد على رؤية التحف المعروضة للزائرين ولكن استمرار تعرض التحف المعروضة للأشعة المرئية فترة طويلة قد يسبب بإصابته بالتلف [٤٣] .

وإن الضوء المرئي ذو الاطوال الموجية القصيرة فبالرغم من انه ذو قدرة أقل من الأشعة فوق البنفسجية فأنه يمكن أن يسبب بهتان أو اقتتام بعض الألوان والصبغات والورنيشات [٤٤] . كما يؤثر الضوء المرئي الطبيعي أوالصناعي على مبيض أحبار الكتابة وأغلفة الكتب الملونة وعلى الألوان عموماً في المطبوعات والخرائط وأن التعرض الطويل للضوء الأزرق أو للأشعة فوق البنفسجية تجعل الورق هشاً يتقصف ويفقد قوته [٤٥] . وأن الأشعة الضوئية المسؤولة بصورة رئيسية عن تعرض الآثار العضوية للتدهور الفوتوكيميائي تقع عند أطول موجات من (٣٠٠–٥٠٠) نانوميتر ، وهذه المنطقة تغطي محتوى الطيف من الضوء فوق البنفسجي القريب (٣٠٠ – ٤٠٠) نانوميتر والبنفسجي والأزرق (٤٠٠ – ٥٠٠) نانوميتر [٤٦] . وأن الراتنج الذي يتدهور عند أشعة لها طول موجي يساوي ٦٠٠ نانوميتر (ضوء مرئي) سوف يتدهور بشكل مؤكد إذا تعرض لأشعة أقسى من ذلك وعند ٤٠٠ نانوميتر فإن فعل الضوء سيكون أسرع مائة مرة وكلما عرضنا هذا الراتنج لإشعاع ذو طاقة أعلى كلما كان رد الفعل سريع عند ٢٨٠ نانوميتر (الأشعة البنفسجية لضوء النهار فأن الرابط الكيميائي ينقسم ١٠٠٠٠ مرة أسرع)[٤٧].

ويسبب الضوء في تعرض المواد اللونية للبهتان وأحياناً تحولها إلى لون أخر بجانب تأثيرها على الوسيط المستخدم مع المواد الملونة حيث يحدث اختلاف في التمدد الحراري للوسائط ومواد التحضير الأرضية مما يسبب تقشر طبقة اللون وانفصالها [٤٨] . فضلاً عن كونه يؤدي إلى وهن وتمزق المواد المقوية المستخدمة في الترميم [٤٩] . بالرغم أن الضوء يغير من قوة المواد خاصة العضوية ، كما ينتج عنه ضعف المنسوجات وتدمير الوسائط اللونية ولكنه لا يخلو من تأثيرات نافعة ، وإن كان الضوء الطبيعي يمكن أن يسرع العمليات الحيوية [٥٠] . فعندما تكون الإضاءة كافية فإن هذا يسمح بانتشار النباتات المائية التي تنتج غاز الاوكسجين (O_2) خلال تفاعلها الحيوي ويكون النشاط البيلوجي محدود بدلالة هذه النسبة الضئيلة من غاز الاوكسجين (O_2) ودرجة الإضاءة [٥١] . يَذكر Thomson أن للإضاءة المباشرة أثر ضار على المواد العضوية ويُستخدم في المتاحف أنواع من اللمبات للإضاءة المباشرة منها لمبة التنجستن ولمبة

الفلورسنت ولمبة هاليد المعدن ويصدر عن أي لمبة حرارة وأشعة يلعبان دور في تلف الآثار [٥٢].

والضوء يتسبب في تحلل المواد السليلوزية عن طريق تكسير السلاسل الطويلة التي تسبب قوته مما يؤدي في النهاية إلى تأثير خواص القوى لمادة الأثر خاصة في حالة الورق والنسيج الذي يصبح هشاً قابلاً للتفتت كما إنه يتسبب في أكسدة طبقات الورنيش وتحولها من الشفافية للون الأصفر ، بجانب تأثيره على الوسيط المستخدم مع الألوان ، ومواد اللصق المستخدمة مسبباً إصابتها بالضعف والتشقق ويتسبب الضوء أيضاً في اصفرار أو قتمان الورق والنسيج والخشب والتدهور الفوتوكيميائي الناتج عن تأثير الضوء دائم وغير متراجع [٥٣] . ويسبب الضوء الصناعي في بعض المشاكل الخاصة به مثلاً من الصعب تحديد درجته وطبيعة الخصائص المتعلقة في الضوء الصناعي [٥٤] . وأن اللمبات الوهيجية مثل التنجستون والهالوجين فأنها تحتوي على كميات قليلة من الأشعة فوق البنفسجية والضوء الأزرق ألا إنها غنية بالأشعة تحت الحمراء التي تعتبر مصدر للحرارة مما تنتج عنه العديد من الأضرار لطبقة الشد والألوان ويزيد من معدل التغير الكيميائي الناتج بواسطة فوق البنفسجية والمرئية [٥٥] .

أما الأشعة تحت الحمراء فتنتج طاقة حرارية تؤدي إلى تلف البقايا الأثرية سواء بشكل مباشر او غير مباشر وبتغير درجة الرطوبة المحيطة وتؤثر بشكل خاص على الخشب وتسبب تشققه [٥٦] . وقد وجد أن استخدام لمبات الفلورسنت حديثاً في الإضاءة يؤدي إلى تبيض الألوان العضوية كالصبغات كما إنه يؤدي إلى أكسدة المواد الوسيطة للتلوين والتي تصبح هشة وذلك بواسطة الأشعة فوق البنفسجية التي تبعثها هذه اللمبات أما عن استخدام لمبات التنجستن والتي تبعث بكمية من الأشعة تحت الحمراء فأن ذلك يحدث اختلاف في التمدد الحراري للمواد الرابطة للألوان ومواد تحضير الأرضية ينتج عنه تقشر طبقة اللون وانفصالها بالإضافة إلى أنه يؤدي إلى وهن وتمزق المواد المقوية المستخدمة في الترميم [٥٧] . ويمكن أن يزداد معدل التدهور بتأثر الضوء بسبب بعض العوامل الخارجية مثل الرطوبة والحرارة و O_2 [٥٨] .

وقد أُكتشف منذ وقت قريب بأن مئات السنين الأولى القليلة من عمر اللوحة تصبح طبقة الطلاء الواقي معتمة في الظلام الدامس بسرعة أكثر من لو كانت معرّضة إلى ضوء نهار الذي ترشح لإزالة طبق الأشعة فوق البنفسجية ، ويشير هذا الاكتشاف إلى الحاجة لاستمرار في الدراسات العميقة للتوصل إلى قرارات صائبة حول تأثر الضوء على القطع والتي تكون مبنية على المعلومات المشتقات من التجربة العملية وليس من العرف السائد [٥٩] .

والحرارة تساعد على الإسراع من التفاعلات الكيميائية فارتفاع درجة الحرارة بمقدار ١٠ درجات سليلوز يمكن أن يضاعف سرعة التفاعل كيميائي [٦٠] . وإن ضوء النهار كثير التقلب

ويحتوي على كمية كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية بحيث لا يكون من الملائم في الواقع إنارة المعروضات في الأوقات التي يفتح فيها المتحف [٦١] . لذلك يجب أن نوضح أن تأثير الضوء على البقايا الأثرية يمكن أن يتسبب نوعين من التلف الأول الأكسدة إلى انفصام للسلاسل وتقصير للجزيئات فتتغير المادة من لونها وتضعف ميكانيكياً وتظهر وصلات عرضية تؤدي إلى ظواهر عديدة منها عدم القابلية للذوبان ويصبح المنتج صلب أكثر، وإذا أصبح غير قادر على مواكبة حركات القطعة الملاصق لها، سوف تنشأ قوى السند وتسبب شقوق وشروخ أو كسور ، وهنالك ظاهرة أخرى مرتبطة بالأشعة تحت الحمراء ألا وهي ارتفاع درجات الحرارة حول القطعة، فاللدائن التخليقية التي تتلدن بالحرارة يكون لها خاصية درجة الحرارة الانتقائية للتزجيج (TG) وهي قيمة حدية لدرجة الحرارة تحتها يكون الجسم في حالة صلبة وفوقها يسلك الجسم سلك سائل شديد اللزوجة [٦٢] . كما موضح في جدول رقم (٥) يوضح نسبة الإشعاع المنبعثة من مصادر الضوء المختلفة ومدى ضررها [٦٣] .

جدول رقم (٥)

وهو يوضّح نسبة الأشّعة المنبعثة من مصادر الضوء المختلفة ومدى ضررها [٦٤] .

Light + Source	I.R	V. L	U.V	Denger
Sun light	++ l.R	++ V.	++ U.V.	++ D.
Normal	++ l.R	+ V.	_ U.V.	D.
Cool beam	_ l..R	+ V.	_ U.V.	_
Normal No.55	_ l..R	+ V.	+ U.V.	D.
Special No.27	_ l..R	+ V.	_ U.V.	+ D. - D.

ومن المشكلات الناتجة عن الضوء للصور الجدارية إضمحلال الألوان وتشجيع النشاط الحيوي الدقيق وتعرّض المواد العضوية للتدهور نتيجة لتكسر ألياف السليلوز [٦٥] . فالمواد العضوية هي الأكثر تعرّضاً للتفاعلات الكيميائية حيث تمتص الطاقة من الضوء ممّا قد يكسر الروابط الكيميائية في المواد ويغّير ألوانها [٦٦] . ويمكن خلال دقائق في الحفائر ، إن لم يكن

ثواني عند تعرّض الملونات المتحللة للضوء بعد حالة الإظلام التام الذي كانت فيه أن تضمحل وتبهت ، كما يساعد الضوء على نمو الميكروبات التي تسبّب افرازاتها الحمضية تلف النقوش ، كما تحجب الطحالب النقوش الملّونة وتشوّه منظرها [٦٧] .

وتفقد الألياف الطبيعية سواء كانت حيوانية أو نباتية قوتها تدريجياً بالتعرّض لضوء الشمس وخاصةً الأشّعة فوق البنفسجية ، وتتوقف سرعة التلف على قوة الضوء ودرجة الحرارة ورطوبة الجو[٦٨] . وهنالك استحالة في العثور على المنسوجات بحالة سليمة أو حتى العثور عليها نادراً [٦٩] .

ولقد أثبتت الدراسات الحديثة التي أُجريت تحت إشراف المركز الدولي لصيانة آثار المتاحف في روما أن الألياف الطبيعية ومواد الصباغة لا تتأثر فقط بضوء الشمس بل تتأثر كذلك بالضوء الصناعي ، وإن كان تأثير الضوء الصناعي لا يظهر إلا بعد فترة طويلة [٧٠] . والحالة الجيدة التي وُجدت عليها بعض أكفان الموميات في مصر القديمة هي نتيجةً لوجودها في تربة مالحة وجافة بعيداً عن تأثير الضوء [٧١] . وأُجريت التجارب لمعرفة مدى تأثير كل من الضوء المنبعث من التنجستن والفلورسنت على الأقمشة المصبوغة فثبُتَ أن ضوء الفلورسنت أكثر ملائمةً لها ، حيث إن شدة الضوء الصادر من لمبات الفلورسنت أقل كثيراً من شدة الضوء الصادر من لمبات التنجستن [٧٢] .

أما بالنسبة للجلود (الأنسجة) فهو نوع من أنواع البروتين الذي يُعرف بالكولاجين * . والدباغة هي عملية تجهيز الجلد ليُصبح طارداً للماء ومقاومته للتحليل بالفطريات ومتعادلة بينما يحتفظ بالليونة مدة أطول [٧٣] . وفي كثير من الحالات يُعثر على الجلود مصابة بالتصلب والالتواء ، أو على شكل لفائف أو طبقات ملتصقة نتيجة المكان الجاف التي توجد فيه [٧٤] .

وإن الإضاءة تلعب دوراً في رفع درجة الحرارة [٧٥] . وفي حالة عرض الجلود لفترة طويلة في المتحف ولجو جاف أي نسبة الرطوبة أقل من ٤٠ % فإن الجلد يفقد طراوته ويصبح صلباً ومتقصّفاً [٧٦] . حيث تكون أغلب البروتينات حساسة للضوء الذي يَسبب تفاعلات أكسدة ضوئية photo-oxidation وهذه التفاعلات تُحفَّز بوجود الأملاح المعدنية وبالأخص في وسط حامضي [٧٧] .

وتعمل الأشّعة فوق البنفسجية الممتصة على تلف وبهتان المواد العضوية الملوَّنة كما إن العديد من البوليمرات الموجودة في المواد العضوية تتكون من جزيئات سلاسلها طويلة وتعمل الأشّعة فوق البنفسجية على تكسيرها وتأثير الأشّعة تحت الحمراء يؤدي الى الإسراع في معدل تلفها وتغير الوان المواد العضوية وخاصةً المواد الخضراء والزرقاء [٧٨] . والتي كانت موجودة في الزخارف النباتية والهندسية الملونة على أخشاب الموردات في واجهات المنازل في منطقة رشيد

في مصر . وقد أثبت Hon أن الخشب يتلف عند تعرضه للضوء من خلال تجارب قام بها عند تعريض الخشب لأشعة ضوئية حيث تنتج عن ذلك شقوق حرة (راديكالات) [٧٩] .

في حالة ارتفاع درجة الحرارة فإن الخشب يتعرض للتفتت والجفاف ، وارتفاع الحرارة يكون اما بسبب مصدر حراري كالضوء المباشر للشمس أو ضوء صناعي قوي. وإن احتراق الخشب المصاحب له انبعاث الضوء والحرارة يحدث عند درجة حرارة ٢٧٥ْ م وتعتمد تلك التغيرات على الوقت وتزداد بارتفاع درجة الحرارة ويتشابه المظهر الخارجي للخشب في هذه الحلة مع مظهر الخشب المصاب بفطريات العفن البيئي [٨٠] . حيث تكون قادرة على التفاعل مع الأوكسجين وثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النتروجين لتُكوِّن مركبات كبريتية [٨١] .

وبتعرض الخشب لضوء الشمس يؤدي ذلك إلى اصفرار الخشب [٨٢] . وقد يظهر أيضاً في بعض الأنواع غَمَقان في اللون ويتغير لون الخشب المعرّض للشمس نظراً لنفاذ الأشِّعة فوق البنفسجية الموجودة في ضوء الشمس جزئياً داخل الخشب [٨٣] . وفي بعض أنواع الخشب تجد إن لون الخشب يصبح أكثر بياضاً بتعرضه لأشعة الشمس والتي تُعتبر من ضمن العوامل البيئية المختلفة التي تسبب التجوية للخشب وتقاومه بواسطة التلف الضوئي [٨٤] . حيث يمتص السيليلوز الضوء بقوة تحت 400–200 نانوميتر ويتشابه الهيميسيليلوز مع السيليلوز فهو يمص الأشِّعة فوق البنفسجية بدرجة مماثلة ويمتص اللجنين والفينولات الضوء بقوة 280–200 نانوميتر،كما تمتص المستخلصات الضوء بين 400–300 نانوميتر ونظراً لأن كل مكونات الخشب لها القدرة على امتصاص الضوء المرئي والأشِّعة فوق البنفسجية ممّا يؤدي إلى تغير لونه للتفاعلات الفوتوكيميائية مما يؤدي إلى تغير لون الطبقة السطحية لمسافة تتراوح بين 0.5–2.5 مم . وبتعرّض الخشب للضوء تزيد الشقوق الحرة وهي ثابتة ولكن في وجود O_2 تتحلل حيث تُكون الهيدروبيروكسيدات والتي تلعب دوراً هاماً في التغير اللوني للخشب [٨٥] .

إن التلف الذي قد ينتج في المستقبل للوحات الزيتية ينشأ أساساً نتيجة لعدم توفر بيئة الحفظ المناسبة أو غياب الصيانة أو المتابعة الدورية [٨٦] .فبالنسبة لتأثير الضوء حيث يكون التلف هنا ناتج من الأطوال الموجية من الطاقات المتنوعة من الأشِّعة المرئية الزرقاء والتي تظهر في ضوء النهار من خلال الزجاج وفي الحقيقة فأن معظم الكانفاس* الكتّان يستلم نسبة ضئيلة من الضوء ولهذا فإنه واضح من الأهمية أن يُدرس تأثير المواد الملونة المختلفة [٨٧] .

كما إن للضوء تأثير واضح أيضاً في اصفرار ودكانة الراتنجات الطبيعية المستخدمة كلورنيشات للوحات الزيتية وكلورنيشات الدامار والمصطكي وبفعل تأثيراته الحرارية ويمكن ملاحظتها عند اقتراب مصادر الإضاءة بشدة من اللوحات الزيتية مما يؤدي إلى تنشيط تفاعلات

الهدم الكيميائية وما ينتج عنها من تأثيرات الجفاف ومظاهر مختلفة [٨٨] . كما إن الورنيش وبخاصة الدامار والمستكة يتأثر بالتعرض المباشر لضوء الشمس الباهر ويتحول إلى اللون الأصفر ويفقد تماسكه وفعاليته ، لذلك يتطلب تغييره من وقتٍ لآخر [٨٩] .

ومن مظاهر تلف اللوحات الزيتية (الورنيش) هي الكراكيلير وهي عبارة عن تصدعات سطحية لطبقة الورنيش وهي ناشئة من العمليات الطبيعية للزمن [٩٠] . وكذلك الإعتام أي التحول إلى اللون المعتم الداكن حيث تتغير طبقة الورنيش الاصلية غلى اللون الأصفر أو البني المصفر الغامق أو البني المخضَر مع مرور الزمن ومن هذه الورنيشات الكوبال والمصطكي والدامار[٩١].

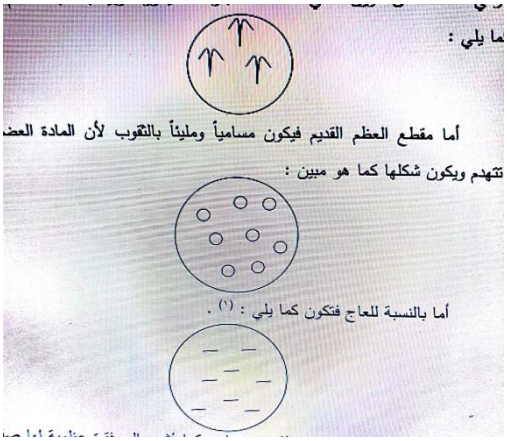
أما بالنسبة للعاج فهو من المواد النادرة التي أُستخدِمت على مدى واسع منذ اقدم عصور التاريخ ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى كثافة ودقة حُبيباته وقابليته للنقش والحفر حيث استعمل القدماء ناب الفيل وكانت المنحوتات والمحفورات العاجية تُصنع أحياناً أو ترسم عليها صور ملّونة [٩٢] . وإن استعمال العاج هو أكثر من استعمال العظام وخاصةً في صناعة الخلاخل وأطراف السهام والصناديق والأسوار والأمشاط والاسطوانات المنقوشة والصحاف المسطّحة وصناعة التماثيل الصغيرة للإنسان والحيوان ودبابيس الشعر وأيدي السكاكين والخناجر ومقابض المدى والسيوف والمراوح والسياط ورؤوس حراب الصيد الكبيرة والترصيع وأرجل الاثاث ورؤوس الصولنجات واللوحات والأواني وتطعيم الخشب [٩٣] .

ويُعتبر العاج من المواد الشبيهة بالعظم [٩٤] . هو غير قادر على تحمل الضوء أكبر من (150 لوكس) [٩٥] . والعاج الحقيقي يُصنع من أنياب الفيل أو جاموس ويتكون من عاج الأسنان الذي يتألف تقريباً ١:٣ كولاجن هيدروكسي اباتيت مع ١٠ % من وزن الماء وهذا خلاف مادة العظم فالعاج يتميز ببنية تحتوي على صفائح ناتجة عن نمو العصبات المطوقة ولا يحتوي على نظام قنوات ويتميز العاج ببنية ظاهرة ذات انبوب ناعم وشكله الدوّار ينتج نماذج ما يُطلق عليه اسم ((دوران الماكينة)) التي يُعرف بها العاج الحقيقي ويختلف حسب طوله حيث يبيض في الضوء [٩٦] .

والعاج من المواد العضوية التي تتأثر بالضوء لأنه يساعد على رفع درجات الحرارة وكذلك الرطوبة العالية حيث تتسبب في تقلص أبعاده فدرجة حرارة ٣٠ درجة مئوية تتسبب في تقصير وتقليص ابعاده بنسبة ٥,٢ % [٩٧] .

وإذا انتقلنا غلى العظام فنجد صعوبة في التفريق بينهما ليس بالمقطع الميكروسكوبي ولكن أيضاً بالتفاعلات الكيمياوية فنجد أن في كليهما مركبات غير عضوية هي نفسها وهي فوسفات الكالسيوم ومعه الكاربونات والفلوريد أما المركبات العضوية في كليهما فهي Ossein

((مادة بروتينية)) وهذا يختلف بالكمية حيث انه حوالي ٣٠ % من الوزن الكلي . أما الاختبارات الميكروسكوبية بالنسبة للعظم فهوكما يلي :



أما مقطع العظم القديم فيكون مسامياً ومليئاً بالثقوب لأن المادة العضوية تتهدم ويكون شكلها كما هو مبين

أما بالنسبة للعاج فتكون كما في المقطع الموضح [٩٨] .

ومصطلح عظم هو مصطلح مبهم فهو كما يُشير إلى فقرة عظمية لها صفة تشريحية فإنه يعني أيضاً المادة الكيميائية التي تُكونّه وهو يشمل كذلك ((المواد الصلبة الحيوانية)) ذات النسيج العظمي ويعني هذا ذات التركيب الكيميائي الواحد : مثل العظم والأسنان التي منها العاج وأخشاب قرون الأيائل ، لأن مكوناتها المعدنية (هيدروكسيباتين) والعضوية (كولاجين) ، أما نسبتها فتختلف الواحدة عن الأخرى [٩٩].

والتغيرات في العظم والعاج تعتمد مرة أخرى على وسط الدفن إلى جانب طبيعة ومصدر المادة وهذا يعني ان سرعة التدهور لا تكون واحدة ، وذلك حسب ما إذا كان العظم قادم من مصدر معافى ، صغير أو متقدم في السن ... إلخ . وإن التحقيق السريع للعظم يؤدي إلى التشقق أو التشظّي [١٠٠] . كما يجب أن لا يُعرض لشدة ضوء أكثر من 150 لوكس [١٠١] .

ويتأثر العظم بظروف الدفن والتعريض ، وهو يتلف سريعاً إذا ما تم تعريضه أو تخزينه في ظروف غير مستقرة لذلك فإنه يتطلب إجراءات تعريض تضمن أكبر درجة حفظ فور الكشف[١٠٢]. وتوجد المواد العظمية في الحفائر في صور متنوعة فهي قد تكون : مشغولات أو فضلات تصنيع هذه المشغولات أو بقايا طعام أو هياكل عظمية (أدمية – حيوانية) [١٠٣] .

وإن التغير البيئي يتناوب فالجفاف والبلل والتقلبات المناخية أيضاً تسبب تلف فيزيائي بالغ يتمثل في الشروخ والتشققات والانقسام والتحطم [١٠٤] . ويُمكن القول بأن الفارق الأساسي بين

بين المواد الهيكلية وبين المشغولات العظمية أو اللقى العظمية الصغيرة بصفة عامة يكون في الشكل والحجم اللذان لا يسمحان بحرية التصرف مع المواد الهيكلية [١٠٥] .

وملخص القول فإن العاج والعظام لها استجابات مختلفة الأوضاع للمنبهات الخارجية . ولذلك نجدها سريعة الالتواء والاعوجاج شأنها في ذلك شأن الأخشاب إذا وُجدت تحت تأثير ظروف غير مناسبة ، كما إن كثرة مسامها وتنوع الوانها الفاتحة يتسبب في تبقعها بسهولة . كما إن لونها يتغير إذا تعرض لضوء الشمس [١٠٦] .

ثالثاً: اجهزة تنظيم الضوء في المتاحف

هناك نوعان من مصادر الإضاءة هي الضوء الطبيعي والضوء الصناعي ، والأنواع الرئيسية للإضاءة الصناعية هي لمبات التنجستن TUNJSTEN وأنابيب الفلورسينت FLOURESCENT ولمبات الهاليد المعدنية ونظراً لأن العين لا يُمكن لها الحكم الدقيق على تقييم الإضاءة والأشِّعة فوق البنفسجية التي تحتويها فإنه يلزم الاستعانة ببعض الأجهزة وأجهزة القياس تتضمن قياس نوعين من الأشِّعة ، الأشِّعة المرئية والأشِّعة فوق البنفسجية [١٠٧] .

واللوكسميتر Luxmetere يُستخدم لقياس الاستضاءة ، وهو يُعطي كمية الضوء الذي تتلقاه قطعةٌ ما ولا يُعطي إذاً أية ايضاحات عن الأشِّعة غير المرئية . كي تستطيع استعمال اللوكسميتر بسهولة فإن الخلية الحساسة للضوء cell photo sensible يجب أن يتم توصيلها بسلك ((تطويل)) أو أن تكون موضوعة على وجه الجهاز . القياس يجب أن يتم على السطح نفسه للقطعة حتى يُمثل ذلك بشكل جيد ما تتلقاه من ضوء [١٠٨] . إذاً هو لقياس الضوء مُعبّراً عنه باللوكس وله حساسية مثل العين البشرية وخليته الضوئية تحوِّل الضوء إلى كهرباء وعلى ذلك فإن الضوء الذي يقع على الخلية الضوئية يُقاس بواسطة المقياس الكهربائي المتصل بالخلية وقد تم معايرتها لكي تُعطي مستوى الإضاءة باللوكس وجهاز القياس يوضع في نفس المكان الذي توضع فيه القطعة أثناء العرض بحيث تكون مواجهة للضوء وشدة الضوء التي تُقاس تسمى الإضاءة [١٠٩] . ويوضع هذا الجهاز كما في هذا الشكل [١١٠] .

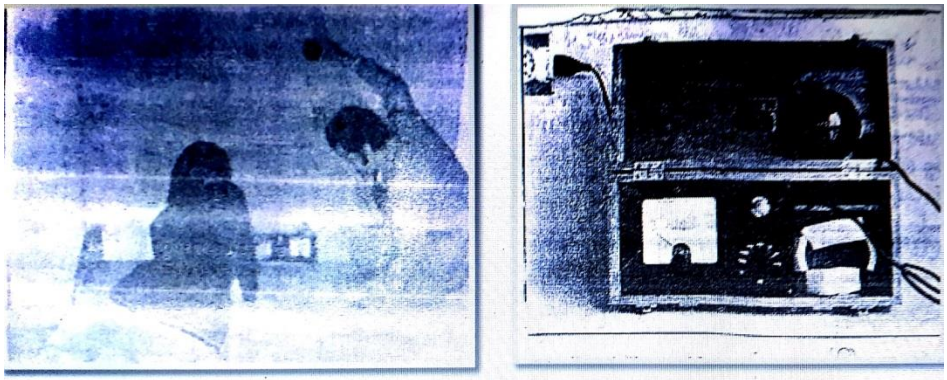
ويُستخدم جهاز Air Scan™ Exposure Monitor وهو جهاز مُزود بوحدات قياس كروموتجرافي ووحدة قياس معدلات الأشِّعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء [١١١] . كما يُستخدم للتأكد من أن الإضاءة في المخازن وقاعات العرض هي وِفق الشروط المطلوبة لقابلية تحمل تلك المواد لذا يكون من الضروري استخدام الأجهزة الخاصة بقياس الضوء (Light Meter) وهي عديدة وتختلف حسب الأجهزة الخاصة بقياس الضوء . فمنها الأجهزة البسيطة والتي تُعرف عادةً بأجهزة الجيب وتكون صغيرة الحجم وتُستخدم للقراءات السريعة وهذه لا يُعتمد كلياً عليها عند

أجراء البحوث الخاصة بالضوء فهي تسجل قراءة تختلف باختلاف مصدر الإضاءة كما موضح في الصورة [١١٢] .

وللتعرّف على شدة الإضاءة بصورة ملائمة ، يجب توفر هذا الجهاز وهو جهاز قياس شدة الضوء من ١٢,٥ إلى ١٠٠٠٠٠ لوكس . إذا يُمكن تنظيم شدة الإضاءة بالنسبة المسموح بها فيجب ألا نزيد الإضاءة في صالات العرض للوحات الزيتية عن ٢٠٠ لوكس 200 Lux[١١٣]. وإن استخدام المرشحات الضوئية لا تُعطي وقاية دائمة لأنها عرضةً للتلف بمرور فترة من الزمن بفعل العوامل الجوية أو إجراء عملية التنظيف لذلك يجب مراقبتها وفحصها بين فترةٍ وأخرى للتأكد من فعاليتها ، ويتم ذلك باستخدام جهاز قياس الأشّعة فوق البنفسجية U.V (meter) فإن سجَّل الجهاز مرور هذه الأشّعة من خلال المرشحات عندها يجب إبدالها بأخرى جديـدة[١١٤]. وجهاز آلترافايوميتر ultraviometre ويتم قياس الأشّعة فوق البنفسجية U.V. ويُعيق استخدام هذه الأشّعة ثمنها المرتفع علاوةً على صعوبة الحصول عليها . وهي تبين كمية الطاقة والأشّعة فوق البنفسجية التي تحتويها كمية معينة من الضوء المرئي ويُعبر عنها بالميكروواط لكل ليومن [١١٥] .

اللوكسميتر

بعض أجهزة قياس الضوء البسيطة



صورة (أ) جهاز ميكاترون لقياس

صورة (ب) استخدام جهاز الميكاترون

الاستنتاجات

١- تنوعت مصادر الضوء مابين الأشعة تحت الحمراء (IR) والأشعة فوق البنفسجية (UV)وكذلك الأشعة السينية (X RAY) والضوء المرئي. ..الخ.
٢- للضوء تأثير كبير على الآثار حيث لبعض الأشعة تأثير كيميائي حيث أن معظم التفاعلات الكيميائية تزداد سرعتها في درجات الحرارة العالية.
٣- تَبين من خلال البحث أن كلما كانت الموجة الضوئية قصيرة زاد تأثيرها على الآثار.
٤- تُعتبر الأشعة تحت الحمراء (IR) بأنها تظهر تفاصيل المواد الموجودة على سطح القطع الأثرية أو في المنطقة المجاورة وتراكمات الصدأ.
٥- تتميز الأشعة فوق البنفسجية (UV) بأن لها تأثير فعال سرعان ما يظهر على المواد العضوية الحساسة، ذلك لأنها تمتص بواسطة الهواء الجوي.
٦- يجب التحكم بشدة الإضاءة داخل صالات العرض لحماية المقتنيات الأثرية من الإضاءة.
٧- تساعد الأشعة السينية (X-RAY) في تحديد مدى التزوير في القطع الأثرية لذا تستخدم للتعرف على الشروخ والتشققات الموجودة على الفخار.
٨- الآثار مواد حساسة والضوء إحدى اساليب التكنولوجيا الحديثة التي تستخدم في حقل الآثار للتعرف على طبيعة المواد ودرجة تلفها.
٩- المواد العضوية مواد هجروسكوبية وحساسة للضوء وقابلة للاشتعال.
١٠- أن الضرر الذي تتعرض له اللقى الأثرية يتناسب عكسياً مع طول الموج الضوئية.
١١- إن زيادة معدل الأشعة على البقايا الأثرية تعمل على تغيير لونها خصوصاً اللوحات الزيتية والورق والجلود لأن اضمحلال اللون لا يمكن استرداده.
١٢- تنوعت الأجهزة المستعملة في تحديد كمية الضوء داخل المتاحف فمنها جهاز اللوكسميتر وجهاز الضوء البسيط وجهاز ميكاترون لقياس الضوء.

هوامش البحث:

ملاحظة: سأذكر هنا معلومات كاملة عن المصادر والمراجع عند ذكرها لأول مرة مما يغنينا عن اعداد جريدة للمصادر والمراجع.

(١) محمود حسام الدين عبد الحميد ، تكنولوجيا صيانة وترميم المقتنيات الثقافية ، الهيئة المصرية العامة للكتب، ١٩٧٩ ، ص ٧٧ .

(٢) النقشبندي ، علي السيد ناصر ، البيئة الجوية والإضاءة في المتاحف ، مجلة سومر ، المؤسسة العامة للآثار والتراث وزارة الثقافة والإعلام – بغداد – ، ١٩٨٢ ، ١ – ٢ / ص ٢٧٢ – ٢٧٣ .

(٣) عبد الواحد ، ناصر ، الضوء في المتاحف وقاعات العرض ، مجلة التراث والحضارة ، المركز الاقليمي لصيانة الممتلكات الثقافية في البلاد العربية – بغداد – ، ص ٤ .

(٤) فيليب ، آدامز ، دليل تنظيم المتاحف ، ترجمة : محمد حسن عبد الرحمن ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الألف كتاب (١١١) ، ١٩٩٣ ، ص ١٦٥ .

(٥) محمود ، المصدر السابق ، ص ٧٧ .

ويُنظر : النواوي ، المصدر السابق ، ص ١٦٨ .

ويُنظر : النقشبندي ، المصدر السابق ، ص ٢٧٢ .

(٦) فيليب ، المصدر السابق ، ص ١٦٥ .

(٧) عمران ، هزار ، ديورة ، جورج ، المباني الأثرية ، المديرية العامة للآثار والمتاحف ، – دمشق – ، ١٩٩٧ ، ص ٧٨ .

(٨) محمود ، المصدر السابق ، ص ٧٧ .

(٩) عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٤ .

(١٠) محمود ، المصدر السابق ، ص ٨٠ .

(١١) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٧ .

(١٢) النواوي ، المصدر السابق ، ص ١٦٨ .

(١٣) علي ، المصدر السابق ، ص ٩٣ .

(١٤) الفقي ، المصدر السابق ، ص ١٢٨ .

(١٥) عبد الله ، إبراهيم محمد ، ترميم تحف الفخار والزجاج والقاشاتي ، دار الوفاء للطباعة والنشر ، – الاسكندرية – ، ط١ ، ٢٠١٢ ، ص ١٠٨ .

(١٦) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٩ .

(١٧) حجازي ،محمد،ثروت محمد ، الاسس العلمية لعلاج وصيانة المكتشفات الأثرية في موقع الحفائر ،مشروع المائة كتاب ٤٧ ، ص ٢٣ .

ينظر : فيليب، المصدر السابق، ص ١٦٧ .

(١٨) حجازي ، المصدر السابق ، ص ٢٤.

(١٩) فضل الله ، فضل الله ، جعفر زهير ، صيانة وترميم المكتشفات الأثرية ، دار قابس ، – بيروت – ، ط١، ٢٠٠٦، ص ٣٩ – ٤٠ .

ينظر : حجازي ، المصدر السابق ، ص ٢٣ .

ينظر : فيليب ، المصدر السابق ، ص ١٦٧ .

ينظر : النقشبندي ، المصدر السابق ص ٢٧٣ .

ينظر : النواوي ، إبراهيم عبد السلام ، علم المتاحف ، مطابع المجلس الأعلى للآثار ، – القاهرة – ، ط١ ، ٢٠١٠ ، ص ١٦٨ .

(٢٠)عبد الواحد المصدر السابق، ص٥؛ وينظر : برديكو ، ماري ك ، الحفظ في علم الآثار والطرق والأساليب العلمية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية ، ترجمة : محمد أحمد الشاعر ، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية ، مجلد ٢٢ ، – القاهرة – ، ٢٠٠٢، ص ٥٣٠ .

ينظر : مظلوم ، المصدر السابق ، ص ٥ .

(٢١) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار إدارة التوثيق والبحث العلمي ، – القاهرة – ، الإصدار الأول ، ٢٠٠٣ –٢٠٠٤، ص ٣٧ .

(٢٢) فيليب ، المصدر السابق ، ص ١٦٤ – ١٦٥ .

(٢٣) عبد الله ، إبراهيم محمد ، مبادئ ترميم وحماية الآثار ، ٢٠١٢ م ، ص ٩٤ .

(٢٤) محمود حسام الدين عبد الحميد، تكنولوجيا صيانة وترميم المقتنيات الثقافية، الهيئة المصرية العامة للكتب، ١٩٧٩، ص ٧٧ .

ينظر : عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٥ .

(٢٥) عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٦١ .

(٢٦) محمود ، المصدر السابق ، ص ٧٧ .

ينظر : عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٥ .

ينظر : فيليب ، المصدر السابق ، ص ٢٢٨ .

ينظر : عمران ، المصدر السابق، ص ٧٨ .

ينظر : حجازي ، المصدر السابق ، ص ١٠٣ .

(٢٧) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ص٣٧

(٢٨) داغستاني ، بسام ، عدنان ، ترميم المخطوطات في مركز جمعة الماجد للثقافة والتراث ، المطبعة الخانجي، ط١ ، – القاهرة – ، ٢٠٠٦ م ، ص ١٢ .

(٢٩) الخطيب ، احمد ، شفيق ، الموسوعة الطبيعية الشاملة ، مكتبة لبنان ، – بيروت – ، ص ٢٤١ .

(٣٠) السيد ، يوسف ، صيانة المخطوطات علماً وعملاً ، علم الكتاب ، ط١ ، – القاهرة – ، ٢٠٠١ م ، ص ٢١ .

(٣١) الزركاني ، خليل حسين ، صيانة المخطوطات العربية وترميمها ، مدونة منشودة ، د.ت ، ص ١٢ .

(٣٢) المحاسني ، سماء زكي ، حفظ التراث العربي ووسائل حماية الوثائق والكتب وترميمها في المكتبات العربية، المجلة المغربية للتوثيق ، – الرباط – ، ١٩٨٣، ص ٦٧ .

(٣٣) شاهين ، عبد المعز ، طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الفنية ، الهيئة المصرية العامة للكتب ، ١٩٩٣ ، ص ٥٦ .

(٣٤) محمود ، المصدر السابق ، ص ١٣٥ .

(٣٥)شاهين ، المصدر السابق، ص ٤٥ .

(٣٦) محمود ، المصدر السابق ، ص ١٧٥ – ١٧٦ .

(٣٧) فيليب ، المصدر السابق ، ص ٢٥ .

(٣٨) عبد الله ، إبراهيم محمد ، مبادئ ترميم وحماية الآثار ، ٢٠١٢ م ، ص ٥٧ .

(٣٩) عمران ، المصدر السابق ، ص ٧٨ .

(٤٠) فيليب ، المصدر السابق ، ص ٢٢٨ .

(٤١) محمود ، المصدر السابق ، ص ٨١ .

(٤٢) محمود ، المصدر السابق ، ص ٨٢ .

(٤٣) عبد الله ، المصدر السابق ، ص ١١٣ .

(٤٤) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٧ .

(٤٥) محمود ، المصدر السابق ، ص ٧٧ .

(٤٦) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٧ .

ينظر : عبد التواب ، نبيل أحمد ، ترميم وصيانة الصور الجدارية ، مطابع جامعة المنوفيه ، ٢٠٠٤، ص ٧٦ .

(٤٧) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٥٣٠ .

(٤٨) عبد التواب ، المصدر السابق ، ص ٧٦ .

(٤٩) عبد التواب ، المصدر السابق ، ص ٧٦ .

(٥٠) حجازي ، المصدر السابق ، ص ١٠٣ .

(٥١) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٣٤١ .

(٥٢) عبد الله ، إبراهيم محمد ، علاج وصيانة التحف الخشبية ، دار الوفاء للطباعة والنشر ، – الاسكندرية – ، ط١ ، ٢٠١٢ ، ص ١١٢ .

(٥٣) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٧ .

(٥٤) فيليب ، المصدر السابق ، ص ٢٢٨ .

(٥٥) عبد التواب ، المصدر السابق ، ص ٧٦ .

(٥٦) عمران ، المصدر السابق ، ص ٧٨ .

(٥٧) علي ، منى فؤاد ، ترميم الصور الجدارية ، مكتبة زهراء الشرق ، ط١ ، – القاهرة – ، ٢٠٠٣، ص ٩٤ .

(٥٨) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٧ .

(٥٩) جونسن ، ئي فرنز ، هوركان ، جوان سي ، المجاميع المتحفية وأساليب خزنها ، ترجمة : ريا عثمان سعيد ، دار الآفاق العربية للصحافة والنشر ، – بغداد – ، ١٩٨٥ ، ص ٧٢ .

(٦٠) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٥٣٢ .

(٦١) عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٦١ .

(٦٢) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٥٣٢ .

(٦٣) علي ، المصدر السابق ، ص ٩٥ .

(٦٤) علي، الجدول رقم (١) يوضّح نسبة الأشِّعة المنبعثة من مصادر الضوء المختلفة ومدى ضررها، ص ٩٥.

(٦٥) أخصائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٠ .

(٦٦) حجازي ، المصدر السابق ، ص ١٠٤ .

(٦٧) أحمد ، شعيب ، ((علاج وصيانة النقوش الجدارية)) ، محاضرات لطلبة تمهيدي ماجستير ، ١٩٩٥ .

(٦٨) شاهين ، المصدر السابق ، ص ٧٤ .

(٦٩) فضل الله ، المصدر السابق ، ص ١٧١ .

يُنظر : مظلوم ، المصدر السابق ، ص ٤٠ .

* مادة بروتينية له تركيب بشكل سلسلة أي إن collage تتكون من سلسلة من الجزيئات الطويلة المتكونة من ذرات تتصل مع بعضها البعض في سلسلة مع جانب أصغر متصل من الجهة الخلفية وهذه الجزيئات المعقدة لل (collagen) مادة بروتينية تتسق نفسها بنفس الاتجاه وتُكون حزمة وتتصل بالماء كيمياوياً .

(٧٠) شاهين ، المصدر السابق ، ص ٧٤ .

(٧١) فضل الله ، المصدر السابق ، ص ١٧١ .

(٧٢) شاهين ، المصدر السابق ، ص ٧٤ .

(٧٣) الدبّاغ ، تقي ، طرق التنقيبات الأثرية ، المكتبة الوطنية ، – بغداد – ، ١٩٨٣ ، ص ٩٣.

يُنظر : خلف إبراهيم حسين ، صيانة العظام والعاج ، ٢٠١٢ – ٢٠١٣ ، ص ٤٣ .

يُنظر : أحمد ، إسماعيل محمود ، طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الفنية ، ص ١٢ .

(٧٤) فضل الله ، المصدر السابق ، ص ١٤٨ .

(٧٥) محمود ، المصدر السابق ، ص ٨٣ .

(٧٦) أحمد ، المصدر السابق ، ص ١٨ .

(٧٧) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٣٥ .

62-Camuffod : (1991) op., cit., p. 51 .

(٧٩) عبد الله ، المصدر السابق ، ص ١١٠ .

(٨٠) عبد الله ، المصدر السابق ، ص ١٠٩ .

(٨١) عبد الله ، المصدر السابق ، ص ١١١ .

(٨٢) الحديدي ، نسرين محمد نبيل أحمد خيرات ، علاج وصيانة الأخشاب تطبيقاً على تابوتين بالمتحف المصري كلية الآثار ، جامعة القاهرة رسالة ماجستير ، جامعة القاهرة كلية الآثار قسم الصيانة والترميم ، ١٩٩٧ م ، ص ٧٦ .

(٨٣) عبد الحميد ، حسام الدين ، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والاخشاب والمنسوجات الأثرية ، الهيئة المصرية العامة للكتب ، – القاهرة – ، ١٩٨٤ ، ص ٢٣٠ .

85- Matulionis R.C. and Freitage J.C. : Preventive maintenance of building , New York , 1994 , p. 191 .

(٨٥) عبد الله ، المصدر السابق ، ص ١١١ .

(٨٦) الفقي ، مصطفى ، أسامة محمد ، فكر ترميم اللوحات الزيتية ، مكتبة الانجلو المصرية ، – القاهرة –، ص ٢٢٣ .

(٨٧) محيي ، محيي ، مصطفى عطية ، المنهج العلمي لدراسة تكنولوجيا وترميم وصيانة اللوحات الزيتية، جامعة القاهرة، ص ١٠٣ .

(٨٨) الفقي ، المصدر السابق ، ص ٨٩ .

(٨٩) شاهين ، المصدر السابق ، ص ١٠٢ .

(91) Emile – Male, G, The Restorer's Hand book of easelpantings, New York, 1976 , P. 50 .

* الكانفاس : هو من حوامل اللوحات الزيتية ومن خصائصه أنه يصير هش وسهل الكسر بمرور الزمن ويصبح ضعيفاً تدريجياً لدرجة تسهل ثقبه أو تمزقه .

(٩١) توفيق ، جهاد محمد ، عمر ، محمد محمد ، تكنولوجيا النقش ، المطبعة الأميرية ، ج٢ ، ١٩٥٠ ، ص ٢٦٦ .

(٩٢) خلف ، إبراهيم حسين ، صيانة العظام والعاج ، ٢٠١٢ – ٢٠١٣، ص ١ .

(٩٣) خلف ، المصدر السابق ، ص ١ .

95- Jonson, Lars – uno : (Bone and related materials) in : (institute conservation) , edited by : Getty Conservation institute , p. 133 .

(٩٥) علي ، المصدر السابق ، ص ٩٥ .

(٩٦) خلف ، المصدر السابق ، ص ١ .

(٩٧) خلف ، المصدر السابق ، ص ٢ .

(٩٨) خلف ، المصدر السابق ، ص ٢٤–٢٥ .

(٩٩) خلف المصدر السابق ، ص ٣٩ .

(١٠٠) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٣٥٠ .

يُنظر : خلف ، المصدر السابق ، ص ٤٠ .

(١٠١) علي ، المصدر السابق ، ص ٩٥ .

(١٠٢)عبد الحميد ، المصدر السابق، ص ١٧٦ .

104- Jonson , Lars – uno : op.cit. , p. 133 .

105- El- Merghani , Samia : (Human remains : some recommendations for recovery and liftings) : 1 st international conference on restoration and conservation of antiquities – Cairo – 1999 .
106- Cook , Della Collins : (human remains : some recommendations for recovery and processing , A work shop on cyprus , 1995 , p. 1 .

(١٠٦) فضل الله ، المصدر السابق ، ص ١٤٢ .

(١٠٧) النواوي ، المصدر السابق ، ص ١٦٩ .

(١٠٨) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٥٣٣ .

(١٠٩) النواوي ، المصدر السابق ، ص ١٦٩ – ١٧٠ .

(١١٠) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٥٣٣ .

(١١١) بدر ، إبراهيم ، عباس ، هشام ، دراسات في علم المتاحف والحفائر ، المعهد العالي للسياحة والفنادق وترميم الآثار ، أبو القير ، – الاسكندرية – ، ٢٠١٢ ، ص ٩٠ .

(١١٢) عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٩ .

يُنظر : محيي : المصدر السابق : ص ١٩٦ .

(١١٣) محيي ، المصدر السابق ، ص ١٩٦ .

يُنظر : النقشبندي ، المصدر السابق ، ص ٢٧٤ .

(١١٤) عبد الواحد ، المصدر السابق ، ص ٨ .

(١١٥) برديكو ، المصدر السابق ، ص ٥٣٣ .

يُنظر : أخصاائيو ترميم المجلس الأعلى للآثار ، المصدر السابق ، ص ٣٩ .