الإضاءة كأحد عناصر التخطيط المستدام لمتاحف الآثار المصرية

Lighting as an Element of the Sustainable Strategy for Egyptian Antiquities Museums

طارق كمال الدين عادلي ، رفيق رضا زارع موسى قسم الديكور , كلية الفنون الجميلة ، جامعة المنيا ، مصر.

ملخص:

يكشف المجلس الدولي للمتاحف "ICOM" في تعريفة لكلمة "متحف"(*) أن العرض هو نشاط واحد فقط بين العديد من الأنشطة الأخرى للمتحف ، وأنه عندما نعمل على إضاءة المتاحف يجب دمج متطلبات هذه الأنشطة الأخرى في خطة الإضاءة العامة ، حيث ينبغي الاهتمام بالحيزات الملحقة بالعرض والتي تتضمن ورش الأعداد ، أماكن تخزين المواد ، ومعامل الصيانة والترميم ، بالإضافة إلى الحيزات العامة مثل القاعات والمكتبات والكافيتريا وغيرها.

إن استدامة إضاءة المتحف ذات شقين أساسيين ، حيث لا يقتصر الأمر على كفاءة الطاقة اللازمة لإضاءة ذات جودة عالية ومريحة توفر حدة الرؤية المناسبة للزائرين والعاملين فقط ، بل وأيضاً توفر إمكانية التحكم في الحد من تلف المواد بفعل الإشعاع الضوئي. إن الحفاظ على المواد عالية الاستجابة للإشعاع هو أمر في غاية الأهمية ، حيث يتم تحديد متطلبات الأداء البصري والتحكم في الحد من تلف وتدهور المواد وفقاً لفئات الاستجابة للضوء ، وذلك من خلال عرض الأضرار الناتجة عن الإشعاع الضوئي تبعاً لاختلاف مواد المتحف ، مع تقديم توصيات لإضاءة المتحف في شكل إجراء عملي يغطي عرض تقليدي قائم يُراد تقديم خيارات وبدائل لتجديده أو أعداد عرض جديد مع مراقبة متغيرات الإضاءة طوال فترة هذا العرض.

الكلمات الدالة: الآثار المصرية ، الاستدامة ، الإضاءة ، متاحف الآثار ، الراحة الضوئية ، كفاءة الطاقة ، الحفظ الوقائي للأثر.

1. مقدمة:

عند النظر إلى الإضاءة الداخلية للمتحف ، والتي يجب أن يتوفر فيها متطلبات فريدة من حيث جودة الإضاءة اللازمة مع الأخذ في الاعتبار أنه قد يتم استضافة مجموعات متنوعة من الأنشطة المختلفة في وقت واحد ، وبشكل خاص عند التركيز على إضاءة العرض المتحفي فلن يقتصر الأمر على مشكلات الحفظ وبيئة العمل المرئية فقط ، ولكن هناك أيضاً الدور الذي تلعبه الإضاءة كعنصر مؤثر مثل باقي العناصر الأخرى المؤثرة في سينوغرافيا(*) العرض المتحفي ، ويجب علينا أن نحدد الفرق بين مصطلحين هامين في هذا السياق هما الضوء والإضاءة ، حيث يعتبر الضوء "Light" مادة حتى ولو كان في الواقع هو عبارة عن طاقة ، "وهو شكل مرئي من الإشعاع الكهرومغناطيسي يحده أطياف الأشعة فوق البنفسجية عند أطوال موجية أصغر والأشعة تحت الحمراء عند أطوال موجية أكبر" (IWBI, 2016). ويمكن أن تكون هذه المادة أما في حالتها الطبيعية كضوء النهار أو يمكن إنتاجها بوسائل اصطناعية كالضوء الكهربي ، ومن الممكن وصف أي ضوء طبيعي أو اصطناعي بتكوينه الطيفي وتدفقه الضوئي وبعض المعايير الأخرى المشتقة منه ، وقد تطور هذا الأداء على مر السنين مرتبطاً بالتقدم التكنولوجي في مختلف المجالات. أما الإضاءة "Lighting" فهي تقنية التحكم في الضوء استجابة لمطلب ما أو لحاجة محددة ، وهو يعتمد على المعرفة المكتسبة ليس فقط لمصادر الضوء وتقنيات التحكم ولكن أيضاً على خصائص أكثر تحديداً (تاريخية ، اجتماعية ، وفنية ...الخ) للعناصر المراد إضاءتها.

2. ضوء المتحف وخصائص مصادره:

إن أنشطة المتحف كثيرة ومتنوعة لذا تختلف متطلبات الضوء من مكان إلى آخر ، فعلى سبيل المثال ، يتم التركز على الأداء اللوني للضوء داخل معامل الترميم والصيانة أما في قاعات العرض سنأخذ بعين الاعتبار خصائص مختلفة مثل جودة وعمر

*) يُعرف المجلس الدولي للمتاحف "International Council of Museums" المتحف بأنه مؤسسة غير ربحيه ، مؤسسة دائمة في خدمة المجتمع وتنميته ، مفتوحة للجمهور ، والتي من خلالها يتم حفظ وصيانة التراث المادي وغير المادي للبشرية ، بالإضافة إلى أغراض البحث والتعليم والدراسة والتمتع بها.

*) سينوغرافيا أو "Scenography" هي كلمة من أصل يوناني "Skini-Grafo" ، تنقسم إلى مقطعين "Skini" وتعني خشبة المسرح أما "Grafo" فتعني أن تكتب أو تصف ، لذلك فمعناها الأصلي هو أن تصف شيئاً على خشبة المسرح وهي تمثل البيئة المكانية للعرض المسرحي من منصات ، عناصر مشهديه ، إضاءة ، موسيقى ، ومؤثرات خاصة.

وتوزيع الضوء ، وعلى هذا فإننا نستطيع القول أنه لا يوجد مصدر ضوء مثالي لأي متحف ولكن يوجد مصدر ضوء يمكن تكييفه لمهمة محددة ، أننا نحتاج إلى معرفة خصائص كل مصدر ومن ثم نحدد اختيارنا لنوعية هذا المصدر وفقاً لذلك ، وعلى هذا فإن الخصائص الرئيسية لمصادر الضوء هي:

- التركيب الطيفي.
- الأداء اللوني.
- كفاءة الإضاءة.
- عمر المصدر الضوئي.

2.1. الضوء الطبيعي أو ضوء النهار "Natural light or Daylight":

إن استخدام الضوء الطبيعي أو ضوء النهار للإضاءة هو أحد السمات المميزة للمباني عالية الأداء ، وبالإضافة إلى فوائد توفير ضوء حقيقي مجاني قد تبين أن الإضاءة الطبيعية توفر فوائد جسدية ونفسية كبيرة لشاغلي المبنى ، غير أن وضع استراتيجيه فعالة للاستخدام الأمثل لضوء النهار يمكن أن يكون عملاً معقداً بسبب المفاضلات التي يجب أن تحدث بين قبول الضوء وأحمال تبريد المبنى وتكاليف النوافذ والمناور وغيرها من الوسائل التي تعمل على نقل الضوء ، في مقابل طرق البناء التقليدية التي لا تهتم كثيراً بهذا الأمر.

"إن أشعة الشمس الطبيعية لديها توزيع طيفي متعادل من ترددات الضوء المرئية مجتمعة معاً لتظهر على أنها ضوء أبيض ، وعلى النقيض من ذلك مصادر الضوء الاصطناعي فهي مقيدة بقوانين الفيزياء وبالتالي محدودة في ترددات الضوء المرئي التي تنبعث منها" (Kibert, 2013).

ويشمل ضوء النهار كلاً من الضوء المباشر القادم من الشمس وأشعة الشمس المتناثرة عبر الجسيمات في الغلاف الجوي ، وإلى جانب الضوء المرئي يحتوي الإشعاع الشمسي ، من بين أمور أخرى ، على الأشعة فوق البنفسجية "UV" والأشعة تحت الحمراء "IR" ، "ويعتمد محتواها الطيفي وكثافتها وتوزيعها الفضائي على كلاً من حالة الطقس ، ساعة النهار ، موسم السنة ، خطوط العرض ، والفتحات والنوافذ التي يمكن تعديلها عن طريق استخدام أنواع الزجاج المختلفة والستائر وما إلى ذلك. ومن ثم يمكن أن تمتد درجة حرارة اللون على نطاق واسع جداً فتنخفض لتصل إلى 2500 كلفن[*] عند غروب الشمس ، وترتفع لتصل إلى 20000 كلفن في حالة السماء الزرقاء الصافية في المناطق القارية أو حتى أكثر في ظل ظروف خاصة وفي مواقع معينة ، ويمكن أن يتغير مستوى الإضاءة أيضاً إلى حد كبير حيث يصل إلى عدة عشرات الآلاف من اللكس لأشعة الشمس المباشرة" (Karlicek, et al, 2017).

وعلى هذا فإن الإضاءة الطبيعية المثالية تتضمن تعرضاً مناسباً لضوء النهار المنتشر ، بالإضافة إلى التصميم الدقيق للنوافذ والزجاج وأنظمة التظليل الداخلية والخارجية ، وذلك لتجنب عدم الارتياح في المجال البصري الناتج عن زيادة الوهج والسطوع المفرط مع إمكانية الحد من كسب الحرارة الزائدة ، حيث تعتبر موازنة أداء الطاقة والراحة الحرارية والوصول إلى ضوء النهار الجيد ضرورة ملحة لتصميم مباني المتاحف الحالية.

2.2. الضوء الاصطناعي "Artificial light":

الضوء الاصطناعي عبارة عن مستهلك شره للطاقة الكهربائية ، فعند تحديد مصدر للضوء الاصطناعي فإن العديد من المصطلحات التقنية تستخدم لاختيار أكثر الأنظمة كفاءة في استخدام الطاقة منها الفعالية ، مقياس التجسيد اللوني (CRI) ، ودرجة حرارة اللون.

تستخدم الفعالية كمقياس لكفاءة الإضاءة "Lighting Efficiency" ، ويتم قياسها باستخدام لومن/ واط (lm/W) أو ناتج الضوء لكل مدخل واضح للطاقة ، إن فاعلية أعلى تعني نظام إضاءة أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة.ويصف مؤشر التجسيد اللوني[*]

---

[*] كلفن "Kelvins" ويرمز له بالرمز (K) ، نسبة إلى الفيزيائي والمهندس البريطاني اللورد كلفن ، وهو من وحدات القياس المعتمدة في النظام الدولي للوحدات لقياس درجة الحرارة ، ويستخدم الكلفن في القياسات العلمية لأنه مقياس لدرجة نشاط الجزيئات في المادة ، أي أنه عند درجة صفر كلفن تتوقف حركة الجزيئات تماماً.

[*] مقياس التجسيد اللوني أو "CRI" وهو مقياس كمي لتحديد مقدرة مصدر ضوئي على كشف ألوان الأجسام المختلفة بالمقارنة مع مصدر ضوئي قياسي أو معياري أو طبيعي ، وتعرفه هيئة الإضاءة الدولية " The International Commission on

(CRI) أو "Color Rendering Index" كيفية تأثير مصدر الضوء على مظهر مجموعة موحدة من البقع الملونة في ظل ظروف قياسية ، "وتعتبر جودة اللون هي دالة على الناتج الطيفي لمصدر الضوء ، وقدرة

الامتصاص/الانعكاس الطيفي للمواد ، وحساسية المستقبلات الضوئية الموجودة بالعين لمختلف الأطوال الموجية للضوء والتي ندركها كألوان ، حيث تؤثر جودة الألوان على الجاذبية البصرية فيمكن أن تساهم في راحة الشاغلين أو تنتقص منها ، ويمكن لجودة الألوان الضعيفة أن تقلل من حدة الرؤية والتجسيد الدقيق للمواد المضيئة" (IWBI, 2016) ، وعلى هذا فإن المصباح الذي يحتوي على CRI 100 لا يشوه مظهر الألوان بالمقارنة بمصباح يحتوي على CRI 50 والذي يقوم بتشويه الألوان بشكل ملحوظ ، إن الحد الأدنى المقبول من مؤشر الأداء اللوني لمعظم التطبيقات الداخلية هو CRI 70 وتكون المستويات فوق CRI 80 هي المفضلة.

بينما تؤثر درجة حرارة اللون "Color Temperature" في مظهر الإضاءة وفي الشعور العام بالفراغ ويتم التعبير عنها بالكلفن (K) ، حيث توفر درجة الحرارة المنخفضة (2700 كلفن) شعوراً دافئاً يشبه الضوء الصادر عن المصابيح المتوهجة فيما توفر درجة الحرارة المعتدلة (3500 كلفن) ألواناً متوازنة وفي حالة درجات الحرارة المرتفعة (4100 كلفن) ينبعث ضوء مائل للزرقة مع شعور أكثر برودة. ويوصى بتوحيد درجة حرارة اللون لجميع المصابيح في نفس الغرفة أو المرفق" (Kibert, 2013).

وفيما يلي (جدول1) سنقوم بدراسة هذه المصطلحات بالنسبة لكل نوع من مصادر الضوء الاصطناعي المستخدمة في المتحف

نوع المصدر	وصف المصدر	كفاءة الإضاءة	مؤشر الأداء اللوني	درجة حرارة اللون	العمر المفترض	قابلية المصدر للتعتيم
المصابيح المتوهجة Incandescent " "Lamps	هي المصابيح المعتمدة على التنجستن "Tungsten" ، حيث يتم تسخين خيوط التنجستن عن طريق مرور التيار الكهربائي مما ينتج عنه انبعاث طيفي ، في حين يتم ملئ الانتفاخ بغاز الهالوجين في مصابيح التنجستن–هالوجين وذلك لزيادة عمر المصباح ، ويوصى باستخدام المصابيح نوعية "UV–STOP" التي تحتوي على مرشح للأشعة فوق البنفسجية مدمج في الظرف الزجاجي للحد من الانبعاثات فوق البنفسجية لمستوى أدنى من مصابيح التنجستن القياسية.	25 لومن/واط	CRI 100 : 98	3200 : 2700 كلفن	4000 ساعة	يمكن تعتيمها بسهولة ولكن مع تخفيض درجة حرارة اللون.
مصابيح الهاليد المعدنية Metal Halide " "	تعرف بمصابيح تفريغ الغاز "gas discharge lamps" مثل مصابيح الفلوريسنت ولكن تحت ضغط أعلى ، ويحدث هذا التفريغ في مساحة صغيرة هي الموقد ، حيث يضاف خليط غازي من الزئبق المتبخر وهاليدات معدنية أخرى (عبارة عن مركبات من المعادن مع البروم أو اليود مثل يوديد الصوديوم).	90 لومن/واط	CRI 95	6000 : 3000 كلفن	10000 :
مصابيح الفلوريسنت Fluorescent " "Lamps	تعتبر الإضاءة الفلورية من أفضل المصادر لمعظم تطبيقات إنارة المباني ، وهي تعتمد على تفريغ الكهرباء بين قطبين في أنبوب مملوء ببخار أو غاز منخفض الضغط وعادة ما يكون الزئبق ، ويتم تغطية الأنبوب بالفوسفور الذي يعيد الإشعاع إلى المنطقة المرئية عندما يمتص الأشعة فوق البنفسجية الناتجة عن التفريغ الكهربائي ، ويتم تصنيفها حسب الطول ، الشكل ، قطر الأنبوبة ، القوة الكهربائية ، والنمط الكهربائي.	100 لومن/واط	CRI 98 : 80	15000 : 3000 كلفن	10000 ساعة	يمكن تعتيمها بسهولة عند تزويدها بوحدات تعتيم مناسبة.
إضاءة الحالة الصلبة Solid State " "Lighting	هي نوع من مصادر الإضاءة التي تستخدم مواد أشباه موصلات ينبعث منها الضوء حال تطبيق تيار مناسب ، مما يحول الكهرباء إلى ضوء بدون توليد حرارة ، ويمكن تصنيفها إلى عدة أنواع من بينها الثنائيات الباعثة للضوء "LEDs" ، الثنائيات العضوية الباعثة للضوء "OLEDs" ، والبوليمرات الثنائية الباعثة للضوء "PLEDs".	100 لومن/واط	CR 95 : 90	6000 : 3000 كلفن	30000 ساعة وما	يمكن تعتيم جميع مصادر الحالة الصلبة بسهولة عند تزويدها بوحدات تعتيم مناسبة.

جدول (1) خصائص مصادر الضوء الاصطناعي المستخدمة في المتحف

Illumination" أو "CIE" على أنه أثر الإضاءة على مظهر اللون للأجسام بالمقارنة الواعية أو غير الواعية لمظهر اللون عند استخدام إضاءة معيارية ، والقيمة العظمى لهذا المقياس هي CRI 100 وتعطى لمصدر ضوئي مطابق لضوء النهار.

3. إضاءة العرض المتحفي:

يتم تصميم إضاءة العرض المتحفي لدعم جوانب أخرى من السينوغرافيا (مثل الصوت ، الكتابة ، اللون ، ووضع المواد) وذلك لتعزيز عملية الاتصال والتعلم والتمتع من جانب الزائر ، ولكن في نفس الوقت يجب أن تضمن إضاءة العرض الحفاظ على المعروضات داخل العرض لأطول فترة ممكنه ، وفي سياق المتحف تعتبر إضاءة العرض هي:

- أحد عناصر الحالة البصرية.
- عامل مهم للإسهام في عمليات التدهور.
- وسيلة للتعبير.

3.1. الضوء كأحد عناصر الراحة البشرية[*] "Light as an Ergonomic Element":

البشر حساسون باستمرار إلى الضوء وهو أحد المحركات الرئيسية للنظام اليومي ، "حيث يدخل الضوء إلى العين ويضرب المستقبلات الضوئية على شبكية العين التي تحوي مجموعة من الخلايا ، تقوم هذه الخلايا بامتصاص الضوء وترسله كمعلومات في شكل إشارات كهروكيميائية إلى أجزاء مختلفة من المخ ، منها خلايا عصوية "Rods" تسهل الرؤية المحيطية والرؤية الليلية في ظروف الإضاءة الخافتة مع قمة الحساسية للضوء الأخضر والأزرق (498 نانومتر) ، وخلايا مخروطية "Cons" تساعد على الرؤية النهارية والإدراك اللوني مع قمة الحساسية للسطوع الضوئي وكذلك الضوء الأخضر والأصفر (555 نانومتر) ، وخلايا عقدية حساسة للضوء "Photosensitive ganglion cells" وهي لا تسهم في الرؤية المباشرة ولكنها تدعم الإيقاع اليومي والأفعال المنعكسة لحدقة العين" (IWBI, 2016).

إن رؤية العمل الفني والاستمتاع به لا يتطلب مستوىً معيناً من الإضاءة فحسب ولكن يتطلب أيضاً نوعاً معيناً من الإضاءة ، فالإضاءة تؤثر على مزاج الزائر وتؤكد تفاصيل المواد الفنية المعروضة ، هذا بالإضافة إلى ضرورة تجنب كل أنواع الضجيج البصري مثل الانعكاس والوهج والسطوع المفرط الذي في معظم الحالات يحتاج إلى تعديل في وضع مصدر الضوء وإعادة ضبطه ، حيث يرتبط اختيار مصدر الضوء ارتباطاً وثيقاً بموضعه المادي داخل وحدات العرض ، وذلك لضمان حدة بصر مناسبة لتجنب إجهاد العين والحفاظ على بيئة مريحة للرؤية.

3.1.1. مستويات الإضاءة "Illuminance Levels":

هناك حاجة إلى مستويات كافية من الضوء لمختلف الأنشطة داخل المتحف ، أما بالنسبة للمواد الأكثر حساسية للضوء فإن مستويات الإضاءة الموصى بها هي في حدود رؤية الألوان وغير كافية لأغراض المشاهدة الدقيقة (50 لكس مقارنة 1500 لكس لأعمال الألوان أو لترميم عمل فني) ، كما أن عوامل الشيخوخة الطبيعية وكبر السن تزيد من صعوبة الرؤية ، علماً بأنه لأداء نفس أعمال القراءة علينا بمضاعفة كمية الضوء المطلوبة لشخص في عمر الستين عاماً مقارنة بالضوء المطلوب لآخر في عمر العشرين ، فيجب أن يؤخذ هذا بعين الاعتبار لتجنب حرمان عدد كبير من الزائرين من الاستمتاع بزيارة العرض المتحفي.

3.1.2. جودة الضوء "Light Quality":

لقد خُلق النظام البصري البشري وتكيف ليتم تحفيزه وتنشيطه بضوء النهار ، وهو ما يعني أنه يستجيب لطيف كامل ومتوازن في المدى المرئي. وفي المقابل ، فإن كفاءة الإضاءة وهي المعيار الوحيد الذي يعتبره قطاع الإضاءة

---

[*] علم تنظيم الشغل أو العوامل البشرية أو عوامل الإنسان أو الإرجونوميكس "Ergonomics or Human Factors" أو الهندسة البشرية ، هو علم يختص بدراسة التفاعل ما بين الإنسان وعناصر أخرى ويستخدم المعلومات والنظريات وطرق التصميم لتحسين حياة الإنسان والأداء العام ، وهو المبحث العلمي الذي يهتم بتصميم الأدوات والمعدات في بيئة العمل بحيث تتلاءم مع طبيعة الإنسان وحاجياته.

الصناعية يمكن إنتاجه بواسطة مصادر يحتوي تكوينها الطيفي على ثلاثة أطياف فردية ، ذلك عن طريق الخلط الجمعي وإعادة الضوء الأبيض. وبناءً على هذا المبدأ ، نرى تطور أنابيب الفلوريسنت (ذات الكفاءة العالية أو المدمجة) التي تغزو حيز الإضاءة استكمالاً لضوء النهار ، فهذا الضوء ثلاثي الألوان يمكن أن يكون مقبولاً ولكن كبديل للضوء الطبيعي فهو ليس مرضياً.

"وباستمرار يطلب من نظامنا البصري بإعادة التوازن الطيفي ، ونشعر بشكل متزايد بالإجهاد البصري عند عرض أعمال ملونة متعددة الألوان ، فإن الفشل في توفير تركيبة طيفية مستمرة لا يسهل التمييز الدقيق للألوان. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن لبعض هذه المصادر أن تؤدي إلى مشكلات التلاون "Metamerism" وهذا يعني أن لونين مختلفين من الظل تحت ضوء كامل الطيف (مثل ضوء الشمس) قد يبدو متشابهان تحت هذه المصادر ، وبعيداً عن مصابيح الهالوجين يوصى فقط بأنابيب الفلوريسنت كاملة الطيف أو مصابيح الهاليد المعدنية أو مصابيح ليد "LEDs" مع مؤشر أداء لوني أعلى من CRI 95" (Karlicek, et al, 2017).

3.2. الضوء كأحد عوامل التدهور "Light as a Degradation Factor":

لإضاءة المتحف ، يجب التركيز على شرط واحد أساسي إلى جانب جودة إضاءة المواد وإضاءة الغرف وكفاءة الإضاءة ، وهو الحفاظ على مواد المتحف عن طريق التحكم في الإشعاع الضوئي الضار ، "إلا أن عمليات التدهور الضوئي الكيميائية تتأثر وبشكل واضح بالتكوين الطيفي للإشعاع (حيث تزداد إمكانية التدهور مع انخفاض طول الموجه) وكثافته ومدة بقاؤه ، هذا بالإضافة إلى الاستجابة الطيفية النسبية للمواد المستقبلة والتي يمكن تحديدها لمصادر الضوء المختلفة" (De Graaf, et al, 2014) ، حيث أن بداية التأثر الإشعاعي للمواد عند التعرض للإشعاع الضار بمرور الوقت يؤدي إلى تغيير ملحوظ في الألوان.

3.2.1. حساسية عناصر التراث الثقافي "Sensitivity of Culture Heritage Objects":

كثير من مواد التراث الثقافي حساسة للضوء ، وخاصة المواد ذات الأصل العضوي منها ، فمن الضروري أولاً معرفة الطبيعة الفيزيائية والكيميائية للأجسام من أجل استنتاج حساسيتها للضوء ، ويمكن تصنيفها إلى أربعة فئات كالتالي (جدول2):

تصنيف الفئات	*وصف المواد*
غير حساسة No Sensitivity	يتكون العرض بالكامل من مواد غير حساسة للضوء. مثل معظم المعادن ، الحجر ، معظم أنواع الزجاج ، السيراميك ، والمينا.
منخفضة الحساسية Low Sensitivity	يتضمن العرض مواد تتحمل قليلاً حساسية الضوء. مثل معظم اللوحات الزيتية ، اللوحات الجدارية ، الجلود غير المصبوغة ، الخشب ، العظام ، العاج ، طلاء الورنيش ، وبعض اللدائن.
متوسطة الحساسية Medium Sensitivity	يتضمن العرض مواد هاربة بفعل الضوء أو معتدلة الحساسية للضوء. مثل معظم المنسوجات ، الألوان المائية والباستيل ، المطبوعات والرسومات ، المخطوطات ، المنمنمات ، ورق الجدران ، معظم معارض التاريخ الطبيعي بما في ذلك العينات النباتية والفراء والريش.
عالية الحساسية High Sensitivity	يتضمن العرض مواد عالية الحساسية للضوء. مثل الحرير ، العناصر الملونة شديدة الهروب بفعل الضوء ، معظم الرسومات الفنية التخطيطية والجرافيك ، والصور الفوتوغرافية.

جدول (2) تصنيف عناصر التراث الثقافي طبقاً لحساسيتها للضوء

3.2.2. طاقة الضوء "Energy of Light":

لا يعتمد التلف فقط على نوع المادة ولكن أيضاً على التركيب الطيفي للضوء ، فالضوء هو شكل من أشكال الطاقة ، حيث تحتوي كلاً من الأشعة فوق البنفسجية والإشعاع المرئي على طاقة كافية لتغذية التفاعل الكيميائي في المواد العضوية ، والتي يمكن أن تؤدي إلى تدهور المواد في شكل بهتان بالألوان واصفرارها ، ومن ثم إضعاف وتفكك وتحلل المواد. "ومن المهم ملاحظة أنه على الرغم من أن طاقات الإشعاع الضوئي تشبه طاقات الربط الموجودة في المركبات العضوية ، فإن العديد من عمليات التحلل والتدهور لا تنتج عن القطع المباشر للروابط التساهمية(*) بفعل الضوء. في حين أن الضوء يوفر الطاقة اللازمة لجعل الجزيئات في حالتها المثارة والتي تكون أكثر تفاعلاً منها في حالتها الأساسية أي قبل امتصاص الضوء ، ومع وجود الأكسجين والرطوبة سوف تتفاعل هذه الجزيئات المثارة الكترونياً لتشكل جزيئات جديدة مما يسبب معظم عمليات التدهور الضوئي" (Karlicek, et al, 2017).

إن السمة الأساسية للتأثير النشط للإشعاع الضوئي هو أن عملها تراكمي ، لذا فنحن بحاجة إلى أن نأخذ بعين الاعتبار ليس فقط الإضاءة ولكن أيضاً وقت التعرض لها ، وهذا يعني أن تأثير مستوى الإضاءة عند 100 لكس(**) لمدة 10000 ساعة (أي من 3–4 سنوات من العرض بالمتحف) هو نفس تأثير مستوى الإضاءة عند 500 لكس لمدة 2000 ساعة ، وهذا ما يعرف بقانون المعاملة بالمثل ، ويجب ملاحظة أننا نستخدم مفهوم الإضاءة المعبر عنه باللكس "LX" وليس مفهوم الواقع المادي للإشعاع المعبر عنه بالواط "Watts" ، لأنه من المعتاد جداً والأسهل قياس الضوء أو الإشعاعات المرئية التي يتلقاها نظامنا البصري البشري بمقياس ضوئي عن قياس الطاقة التي تتلقاها المادة بمقياس الإشعاع.

إن الحرارة الناتجة عن مصادر الضوء المختلفة داخل العرض وما يحيط بها (في الغالب من الشمس ومصابيح الهالوجين) هي أيضاً سبب رئيسي للتدهور ، والعامل الأكثر أهمية هو التغير في الرطوبة النسبية والبيئة وخاصة للعناصر التي تحتوي على مواد عضوية مثل الخشب ، العاج ، الورق ، والمنسوجات ، مما يؤدي إلى التعجيل بعملية الشيخوخة الضوئية الكيميائية.

3.3. الإضاءة كوسيلة للتعبير "Lighting as a Means of Expression":

إذا كانت خيارات الإضاءة المتعلقة بالحفظ الوقائي والراحة البصرية البشرية عملية وموضوعية ، تلك الخيارات المكونة من معايير مرنه تمثل الجزء المتعلق بإضاءة العرض ، فإن الإضاءة هي لغة ذات تركيب معين ولها مغزاها ومفهومها الخاص ، فيمكن تعزيز فكرة أو سيناريو في حيز ما من خلال الإضاءة.

فمن الممكن أن يؤدي اختيار نوع معين من الإضاءة لمشهد ما إلى إثارة انفعال أو شعور معين في المشاهد فيجب على المرء أتباع بعض القواعد لبناء واختيار حالة الإضاءة المطلوبة ، تلك التي تحدد تشكيل الوحدات (مجموعة المتغيرات) وتقود إلى دمج هذه الوحدات ، ومن ثم إلى الاستخدام النافع لهذه المجموعات.

ويمكن تنظيم الوحدات على ثلاثة مستويات ، الأول هو متغيرات الإضاءة التي يتم تحديدها من خلال بعض المتغيرات الأساسية مثل كثافة الضوء وتوجيهه ودرجة حرارة اللون في بقعة الضوء ، والمستوى الثاني يتكون في حالة دمج

---

*) الرابطة التساهمية هي أحد أشكال الترابط الكيميائي وتتميز بمساهمة زوج أو أكثر من الإلكترونات بين الذرات ، مما ينتج عنه تجاذب جانبي يعمل على تماسك الجزيء الناتج ، وتميل الذرات للمساهمة أو المشاركة بإلكتروناتها بالطريقة التي تجعل غلافها الإلكتروني ممتلئ ، وتميل الرابطة التساهمية لأن تكون أقوى من أنواع الروابط الأخرى مثل الرابطة الأيونية.

**) اللكس أو الشمعة العيارية وباللاتينية تعني ضوء ، وهي وحدة شدة الضوء في نظام الوحدات الدولي ويرمز لها بالرمز "LUX" أو "LX" ، وهي تكافئ مللي وات/متر مربع أو (lx = lm/m2).

اثنين على الأقل من متغيرات الإضاءة لخلق وحدات محسوسة ، والأخير هو تجميع وحدات الحس لتجميل التصميم الضوئي.

3.3.1. متغيرات الإضاءة "Luminous Variables":

يمكن تقسيم هذه المتغيرات إلى مجموعات متعددة ، تلك التي يتم تصنيفها تحت مصطلح "المتغيرات المرنة ، المتغيرات الهندسية (مثل الانعكاس ، الانكسار أو الانحراف ، الانتشار ، ...الخ) ، المتغيرات المكانية ، والمتغيرات المتعلقة بالوقت" (Karlicek, et al, 2017).

3.3.1.1. متغيرات مرنة "Plastic Variables":

- كثافة الضوء "Light Intensity" ، أو شدة الضوء ، وعلى نحو أدق شدة الإنارة في مقابل الظلام ، ويمكننا قياس هذا المتغير كقيمة نسبية (من صفر% للأسود إلى 100% للضوء الكامل) أو كقيمة مطلقة باللكس كوحدة لقياس شدة الإضاءة.
- الصفاء اللوني "The Chroma" ، يقيس هذا المتغير درجة اللون (الأزرق ، الأخضر ، الأحمر ، ...الخ) بالإضافة إلى درجة تشبع اللون ، وذلك بفضل قياس الإحداثيات اللونية.

شكل (1) استخدام شدة إضاءة منخفضة لعمل محاكاة لمقبرة سننفر "مقبرة العنب" الأصلية الموجودة بمدينة الأقصر
Roemer and Pelizaeus Museum – Hildesheim – Germany

شكل (2) استخدام شدة إضاءة مرتفعة لعرض بعض القطع المعدنية الصغيرة والمتوسطة الحجم أو القطع ذات التفاصيل
Dom Museum – Hildesheim – Germany

3.3.1.2. متغيرات هندسية "Geometric Variables":

- الامتداد "The Extent" ، أو زاوية الفتحة ، لجزء أو كل من المصدر المضيء (مفتوح مقابل مغلق أو منتشر مقابل مركز) ، ويمكن التعبير عن هذه الزاوية بالدرجات.
- الملمس "The Texture" ، ويعني حدة بقعة الضوء (من الشفافية الكاملة إلى الانتشار الكامل) ، ويمكن قياسه بعامل انتشار يتراوح من صفر إلى 100.
- شكل حزمة الضوء "Light Beam Shape" ، والتي تم ت

شكل (3) مصادر إضاءة ذات إمكانية لتغيير شكل وحجم وزاوية الفتحة المضيئة
Lower Saxony State Museum - Hannover – Germany

3.3.1.3. متغيرات مكانية "Spatial Variables":

- الموقع "The Location" ، أو النقطة المحددة ، والتي يتم اختيارها لإلقاء الضوء على جزء معين من المشهد (شامل مقابل موضعي).
- التباين "The Contrast" ، أو نسبة السطوع ، بين الخلفية والموضوع والتي ستطبق على كامل المظهر مقابل الإضاءة الخلفية.
- الاتجاه "Direction" ، أو الظـــــــل المرتمي ، على محور اليسار مقابل اليمين ، أو الأمام ، مقابل الجنوب.

شكل (4) اتجاه الضوء الساقط على العنصر وما ينتج عنه من ظلال مرتمية
Herzog Anton Ulrich Museum – Brunswick – Germany

3.3.1.4. متغيرات متعلقة بالوقت "A Time-Related Variables":

- الحركة "The Movement" ، على محور زمني (قبل مقابل بعد) أو في فراغ ثلاثي الأبعاد ، ويرتبط هذا المتغير بحركة الضوء كما يرتبط أيضاً بحركة المشاهد.

3.3.2. دمج المتغيرات "Combined Luminous Variables":

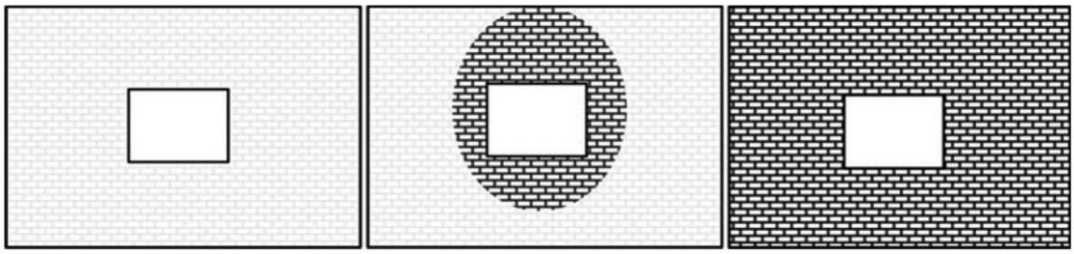
يمكننا دمج المتغيرات السابقة معاً لنقل رسالة معينة من خلال العمل ضمن دراسة رموز معينة خاصة بالرموز البصرية ، وسنوضح هذه المفاهيم من خلال دراسة مثالين أولهما يتناول الإضاءة العامة في صالة العرض والآخر يتناول الإضاءة التي يتم تركيزها على العمل الفني.

المثال الأول ، في غرفة منتظمة الإضاءة بواسطة ضوء منخفض ومنتشر وبارد ، فمن خلال تجربتنا الشخصية الإنسانية يمثل هذا الضوء يوم شتاء قاتم لا نشعر فيه بالسعادة بل يشعر معظمنا بالحزن والاكتئاب ، ويؤكد هذا المثال على استخدام مفهوم دمج المتغيرات باستخدام ثلاثة من متغيرات الإضاءة الموضحة أعلاه مع قيمة معينة لكل منها ، حيث أن إعطاء قيمة مختلفة لهذه المتغيرات قد يؤدي إلى مشاهدة وشعور مختلف تماماً ، ويوضح (جدول3) أثر دمج بعض متغيرات الإضاءة على المشاهد.

المتغيرات	***الهدف***	***التأثير***
إضاءة منخفضة – دافئة – مباشرة	مدفأة	هدوء وسلام
إضاءة قوية – دافئة – منتشرة	حريق	قلق وشجن
إضاءة منخفضة – باردة – منتشرة	يوم شتاء قاتم	حزن واكتئاب
إضاءة قوية – باردة – مباشرة	يوم صيف مشمس وجميل	سعادة ورفاهية

جدول (3) تأثير دمج بعض متغيرات الإضاءة على المشاهد

أما المثال الثاني ، فعند سقوط إضاءة مركزة على عنصر ثنائي الأبعاد فتتركز الرؤية على محور النسبة بين كلاً من الخلفية والعنصر ، وسوف يتم الاختيار بناء على هذه النسبة في حالة أما أن يكون الضوء باهت أو ضوء مركز أو حتى ضوء داخل إطار.



إضاءة باهتة إضاءة مركزة إضاءة ذات إطار

شكل (5) تصنيفات الإضاءة المركزة

ففي الحالة الأولى يربط الضوء الباهت "Washed Lighting" معاً في نفس الحالة كلاً من العنصر والخلفية حيث يقترن تأثير طبيعة مشهد الخلفية بالعنصر المعروض ولكنها تحمل معنى مختلف ، وفي الحالة الثانية في الإضاءة المركزة "Focused Lighting" حيث ينصب التركيز على العنصر وتفقد الخلفية أهميتها وتصبح أقل تأثيراً ، بينما في الحالة الثالثة والأخيرة وهي الإضاءة ذات الإطار "Framed Lighting" فإن إهمال البيئة المحيطة التام يعطي تأثيراً قوياً يصل إلى الحد الأقصى من التباين من خلال اللامركزية المفروضة.

شكل (6) عرض تمثال حم إيونو مهندس الملك خوفو الذي قام ببناء أهرامات الجيزة - باستخدام ضوء مركز باهت – الحالة الأولى
Roemer and Pelizaeus

شكل (7) عرض لوحات زيتية - باستخدام إضاءة مركزة - الحالة الثانية
Herzog Anton Ulrich Museum – Brunswick –

شكل (8) عرض أعمال خزفية - باستخدام إضاءة مركزة حول إطار داخل وحدات العرض - الحالة الثالثة
Herzog Anton Ulrich Museum – Brunswick –

وفي حالة الإضاءة المركزة يمكننا إنشاء وحدات خاصة من خلال الاختيارات التي تمت على شكل وأبعاد الإضاءة ويمكننا إضافة متغير من مستويات الإضاءة ودرجة حرارة اللون ، حيث تعتبر هذه المتغيرات مثل الخيارات السابقة فهي ليست محايدة وسوف يكون لها تأثير على إدراكنا.

4. الحد من الأضرار الناجمة عن الضوء:

ترتكز استراتيجيات الحد من التدهور الناجم عن الضوء إلى مبادئ بسيطة للغاية ، "هي القضاء على الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والحد من الإشعاع المرئي" (Karlicek, et al, 2017) ، علماً بأن تأثير الضوء تراكمي فعلينا أن نحكم على كمية الضوء الإجمالية ، أي مقدار التعرض للضوء والذي سيتم قياسه باللكس/ ساعة (أي مستوى الإضاءة في عدد ساعات التعرض للضوء).

4.1. التخلص من الأشعة فوق البنفسجية "Ultraviolet Elimination":

تعتبر الأشعة فوق البنفسجية من الإشعاعات النشطة جداً وذلك بسبب طول موجاتها القصير ، ومن ثم فإن هذه الإشعاعات تمثل خطراً رئيسياً على العديد من المواد العضوية إذا وجدت بنسب كبيرة (حوالي 6% من الإشعاعات المرئية) ، لذا وجب علينا محاولة القضاء عليها.

ففي حالة الضوء الطبيعي أو ضوء النهار "Natural or Daylight" يجب أن يزود أي بناء جديد يتم إنشاءه بهدف عرض التراث الثقافي بزجاج واقي ، هذا الزجاج من الممكن أن يكون شفاف أو ملون أو ذو خصائص صُممت لأهداف أخرى (الأمن ، العزل الحراري ، ...الخ) بالإضافة إلى التخلص من الأشعة فوق البنفسجية ، ويقلل هذا التزجيج من دخول الأشعة فوق البنفسجية بنسبة تزيد عن 95% ، بينما في المباني الحالية يمكن لصق بعض الأفلام البلاستيكية التي يتم تركيبها على الزجاج خصيصاً لهذا الغرض والتي يمكن أن تكون شفافة أو ملونة.

أما في حالة الإضاءة الاصطناعية أو الأضواء الكهربائية "Artificial or Electric Lights" فيجب علينا أولاً اختيار مصدر الضوء المراد استخدامه (هالوجين أو هاليد معدني) مع استخدام غلاف زجاجي أو انتفاخ زجاجي مصمم لامتصاص الأشعة فوق البنفسجية ، ويسمى هذا "No UV" أو "UV Stop" بمانع الأشعة فوق البنفسجية ، وهو مهم بشكل خاص لمصابيح الهاليد المعدنية التي ينبعث منها الأشعة فوق البنفسجية بكميات كبيرة نسبياً ، وإذ لم يكن الأمر كذلك فمن الضروري تزويد الأجهزة المستخدمة لتلك المصادر بمرشحات زجاجية غالية الثمن نسبياً ، أما في حالة اختيار مصابيح الفلوريسنت فإن درجة حرارة المصباح غير مهمة لذلك سيكون مرشح البوليستر المضاد للأشعة فوق البنفسجية "anti–UV Polyester filter" كافياً ، "وأسهل طريقة الآن هي استخدام إضاءة الحالة الصلبة مثل مصابيح ليد "LEDs" التي تخلو بشكل طبيعي من الأشعة فوق البنفسجية" (Luo, 2018).

شكل (9) استخدام التزجيج الواقي من الأشعة في قاعات العرض – حالة الإضاءة الطبيعية
The Neues Museum – Berlin – Germany

شكل (10) تركيب مرشحات الضوء الزجاجية على وحدات الإضاءة – حلة الإضاءة الاصطناعية
Lower Saxony State Museum – Hannover – Germany

4.2. التخلص من الأشعة تحت الحمراء "Infrared Elimination":

الأشعة تحت الحمراء هي أيضاً ضارة ، كما أن التأثيرات الناتجة عنها لا يمكن التخلص منها بينما في أغلب الأحيان نحاول تقليلها ، وفيما يتعلق بالضوء الطبيعي ينبغي لنا أن نتحرك من خلال اختزال الفتحات الشمسية الجانبية أو استخدام التزجيج الواقي من الشمس أو الأفلام أو استخدام أنظمة الحماية الخارجية مثل المصاريع والستائر وكاسرات الشمس. أما في حالة استخدام الإضاءة الاصطناعية "Artificial Light" فينبغي استخدام المرشحات والمصابيح مع عاكسات للأشعة تحت الحمراء (مزدوجة اللون) أو أنظمة الألياف البصرية ، "ورغم ذلك توفر إضاءة الحالة الصلبة الآن أفضل الحلول للحد من انبعاث الأشعة تحت الحمراء" (Luo, 2018).

4.3. الحد من الإشعاع المرئي والتحكم فيه "Reduction and Control of Visible Radiation":

الإشعاع المرئي هو السبب الرئيسي لعمليات التدهور الكيميائي الضوئي ، لذلك يجب السيطرة علية باهتمام كبير ، وكما ذكرنا إن التدهور الناجم عن الضوء تراكمي ، ومن هنا جاءت الأهمية المعطاة للجرعة المستقبلة لكل وحدة زمنية ، ولأسباب تتعلق بسهولة القياس نعمل مع وحدات مرئية من جرعات التعرض للإضاءة والضوء والتي يطلق عليها لكس "LX" ، ولكس لكل عدد ساعات خلال السنة (LX h/a).

إن القياس باستخدام مقياس الضوء هو قياس فوري لحظي ، إذ تزداد دقته كلما كانت الإضاءة مستقرة ، أما بالنسبة للقياسات التفاعلية المتغيرة فيمكن دمج مقياس الضوء وذلك لقياس مستوى السطوع على فترات زمنية محددة (على سبيل المثال ، كل دقيقة) للتكامل في ساعة مما يؤدي إلى عدد من ساعات اللكس للفترة التي تمت دراستها ، وهناك أيضاً مقاييس خاصة بالجرعات الكيميائية مثل تلك الخاصة بفحص الضوء "Light Check" والتي تستخدم لتقدير الجرعة التي تتلقاها المادة المعروضة خلال فترة زمنية ، وهي أقل دقة من المقاييس الضوئية ولكنها سهلة الاستخدام للغاية لرصد مقدار التعرض للضوء ، ويوضح (جدول4) حدود التعرض السنوية للضوء بالنسبة لتصنيفات المواد المختلفة.

تصنيف المواد	***التعرض السنوي للضوء***
مواد غير حساسة "No Sensitivity"	بغير حدود (للحفظ).
مواد منخفضة الحساسية "Low Sensitivity"	600000 لكس– ساعة لكل عام.
مواد متوسطة الحساسية "Medium Sensitivity"	150000 لكس– ساعة لكل عام.
مواد شديدة الحساسية "High Sensitivity"	15000 لكس– ساعة لكل عام.

جدول (4) حدود التعرض السنوي للضوء لبعض المواد مختلفة الحساسية

شكل (11) عرض مواد شديدة الحساسية للضوء باستخدام وحدات عرض معتمة متعددة الطبقات
The Neues Museum – Berlin – Germany

شكل (12) خزانه معتمة لحفظ بعض مواد الجرافيك شديدة الحساسية للضوء
Herzog Anton Ulrich Museum – Brunswick – Germany

ويمكننا الحد من الإشعاع المرئي لضوء النهار والتحكم فيه وذلك عن طريق استخدام التزجيج الشمسي المتحكم فيه أو الأفلام المخصصة لذلك مع استخدام المصاريع أو الستائر الدوارة هذا إلى جانب إمكانية التقليل من ساعات العمل اليومية للمتحف ، كما يمكننا عرض المواد شديدة الحساسية للضوء من خلال استخدام وحدات عرض معتمة متعددة الطبقات " Dark multi-layered showcase" والتي تسمح للزائر بمشاهدة المعروضات في عدة مجموعات داخل وحدة العرض حيث تظهر المجموعة عند اختيارها للعرض ثم تعود لتحفظ في الظلام مرة أخرى ، "وأيضاً يمكن استخدام الإضاءة الاصطناعية لتقليل التعرض للضوء عن طريق استخدام مجموعة من الأنظمة مثل أنظمة الكشف "Detection Systems" ، ومفاتيح الفارق الزمني "Time Lag Switches" ، وأنظمة الإضاءة التفاعلية "Dynamic Lighting" (Hernandz, 2015).

5. توصيات الإضاءة لبعض أجزاء المتحف:

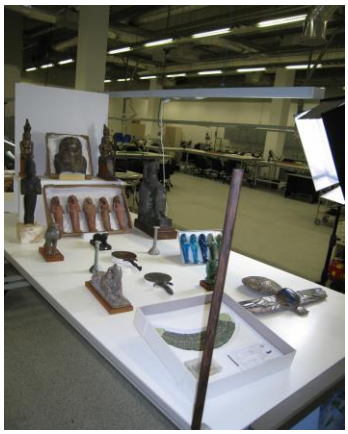
لا تقتصر إضاءة المتحف على منطقة العرض فقط ولكن فيها مستويات وجودة الإضاءة للحفاظ على بيئة عمل مريحة.

5.1. معامل الصيانة والترميم "Conservation and Restoration Workshops":

توجد أنواع عديدة من معامل الترميم وهي مرتبطة بنوعية المواد المراد معالجتها ، ومن المهم أن يكون المرمم قادراً على الإدراك والرؤية بشكل جيد ، هذا يعني أنه ليس فقط رؤية الاختلافات في اللون (درجة اللون ، التشبع ، والسطوع) ولكن أيضاً القدرة على تمييز التصدعات والشروخ والسماكات وجميع التفاصيل بوضوح أثناء عملية الترميم ،

وأيضاً يجب أن يستطيع المرء أن يميز ما بين الأشكال المختلفة هذا بالإضافة إلى جودة الظلال ، حيث يمكن أما أن يكون الضوء منتشراً مثل سماء ملبدة بالغيوم أو موجه مثل الشمس ، مع مراعاة البحث عن التوازن الطبيعي للنسق اللوني في المجال البصري للمشتغل عن طريق تجنب الوهج والبريق الضوئي ، هذا بالإضافة إلى التوازن اللوني وحيادية للألوان المستخدمة في الأسطح المحيطة.

فالإضاءة العامة مع الضوء الطبيعي هي شرط للشعور بالرفاهية والسعادة ، مع تفضيل اختيار الإضاءة الشمالية لثباتها طوال اليوم ، ومهما كانت جودة هذا الضوء الطبيعي ينبغي أن يلحق به إضاءة اصطناعية ، "وإذا كانت الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية ثابتة فإن جودتها العالية أمر أساسي مع مصادر ذات مؤشر أداء لوني أعلى من 95 CRI ودرجة حرارة لونية 5000 كلفن على الأقل" (Karlicek, et al, 2017).



شكل (13) استخدام إضاءة اصطناعية عامة وأخرى موجهه بمعمل ترميم الأحجار والتماثيل الصغيرة
Grand Egyptian Museum – Giza – Egypt

شكل (14) استخدام إضاءة عامة إلى جانب الضوء الطبيعي بمعمل ترميم الخزف
Herzog Anton Ulrich Museum – Brunswick – Germany

5.2. منطقة تخزين الأعمال الفنية "Artworks Storage Area":

تعتبر مناطق تخزين الأعمال الفنية من المناطق الخاصة في المتحف ، فيجب أن تبقى المواد المخزنة محفوظة في الظلام بعيدة عن أي مصدر للإضاءة ، ولكن عادة وباستمرار يتم تفقد المواد المحفوظة لتلبية احتياجات المتحف المختلفة (مثل تغيير العرض ، إعارة الأعمال ، الجرد ، الصيانة ، التصوير وما إلى ذلك) وبالتالي فهناك حاجة مستمرة لإلقاء الضوء على هذه الأماكن.

شكل (15) منطقة تخزين المواد
Lower Saxony State Museum – Hannover – Germany

ويتم اختيار مناطق الحفظ والتخزين وبعض المساحات المخصصة ومعامل التصوير الفوتوغرافي أو المسح الضوئي في نفس المبنى أو المنطقة الرئيسية لحركة وانتشار الزائرين.

6. المعالجات التصميمية لكفاءة الراحة الضوئية:

إن استخدام ضوء النهار لإضاءة المساحات الداخلية يقلل بشكل كبير من استهلاك الطاقة في المباني ، هذا إلى جانب الفوائد الفسيولوجية والنفسية للضوء الطبيعي. ومع ذلك ، فمن المهم التمييز بين كلاً من ضوء النهار "Daylight" وضوء الشمس المباشر "Sunlight" الذي يمكن أن يكون شديداً للغاية ، ولكن ما نشير إليه في ضوء النهار هو الضوء الطبيعي المنتشر من السماء الذي لا يكون شديداً ويمكن استخدامه لإضاءة المساحات الداخلية في مبنى المتحف.

وقد تختلف مستويات الإضاءة على مدار اليوم وفقاً لظروف السماء ، "لذا فإن مقياس فعالية ضوء النهار داخل فراغات المبنى المختلفة أو عوامل ضوء النهار "Daylight Factor" يتم التعبير عنها على أنها جزء من الضوء الطبيعي الذي يقع على سطح العمل مقارنة بما كان يمكن أن يسقط على سطح أفقي دون عائق تحت ظروف السماء نفسها ، فيتم حساب عامل ضوء النهار "DF" عادة باستخدام ظروف السماء الملبدة بالغيوم لتمثيل السيناريو الأسوأ للتصميم ، إن عامل

ضوء النهار المثالي للأنشطة الداخلية هو في حدود 2: 5% حيث أن أي شيء أقل من ذلك يعتبر مضاءً بشكل سيء وأي شيء أكثر من ذلك يمكن أن يسبب آثاراً على الراحة الحرارية ، ويتم وصف النسبة المئوية لساعات العمل التي يتم فيها تلبية احتياجات الإضاءة من خلال ضوء النهار وحده باستقلالية الإضاءة النهارية "Daylight Autonomy" أو "DA" (Jadhav, 2016).

وسيتم في هذا الجزء وصف العديد من التقنيات التي تساعد على الاستخدام الفعال ليس فقط لضوء النهار ولكن أيضاً للضوء الاصطناعي.

6.1. نوافذ الإضاءة النهارية "Daylight Apertures":

تستخدم الفتحات والنوافذ الموجودة بغلاف المبنى لإدخال ضوء النهار إلى داخل المبنى ، ويوجد العديد من تقنيات النوافذ التي يمكن استخدامها لإدخال ضوء نهار كافٍ للأماكن المغلقة.

6.1.1. النوافذ الجانبية "Side Windows":

إن الضوء القادم من النوافذ الجانبية هو الشكل الأكثر شيوعاً لتقنية ضوء النهار ، ومع ذلك فإن اختراق مثل هذا الضوء بعيداً في المساحات الداخلية للمبنى يكون محدود ، ومن ثم فإن النوافذ الجانبية كطريقة أساسية للإضاءة النهارية تعمل بشكل جيد فقط مع مخططات الطوابق ذات المسطحات الضيقة.

شكل (16) إضاءة العرض باستخدام النوافذ الجانبية
The Neues Museum – Berlin – Germany

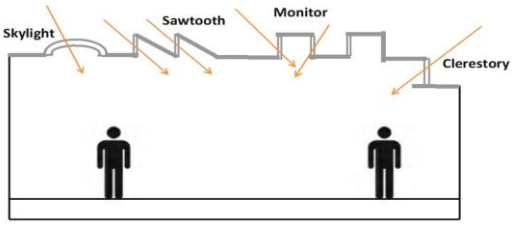
ويعتبر توجيه النوافذ الجانبية أيضاً أحد الاعتبارات الهامة ، فالنوافذ المواجهة للشرق أو الغرب تكون فعاله فقط في وقت معين من اليوم (صباحاً أو بعد الظهر) ويمكن أيضاً أن تتسبب في وهج مفرط وتسخين للفراغ بسبب أشعة الشمس المباشرة ، ويمكن توفير الإضاءة بدون الكثير من الوهج أو الحرارة من النوافذ التي توجه بعيداً عن مسار الشمس ، ومن ثم فيجب اختيار النوافذ الجانبية لاستخدامها للإضاءة النهارية بعناية لموقع معين مع الأخذ بعين الاعتبار مسار الشمس وكتلة المبنى وتطور المباني المجاورة.

6.1.2. المناور "Skylights":

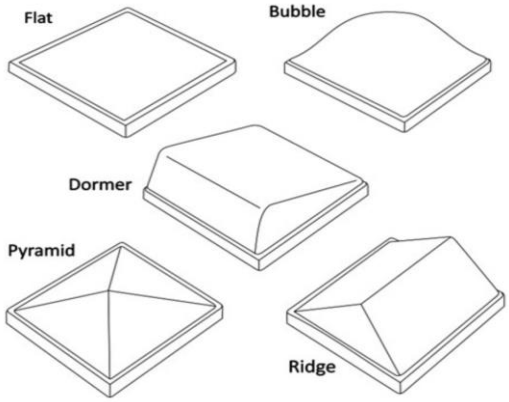
هي عبارة عن كوة أو فتحة في السقف ، ويمكن أن تكون فعالة في إلقاء الضوء بشكل أعمق داخل المبنى ، ولكنها يمكن أيضاً أن تتسبب في مشاكل من حيث نفاذ ضوء الشمس المباشر ، ويتم تركيب معظم المناور على أسطح مستوية حيث تحتوي على رؤية غير مقيدة مفتوحة إلى السماء.

تتنوع المناور في الأحجام والأشكال والنماذج لتتناسب مع متطلبات المبنى ، وتتفاوت في أشكالها من المستطيلات البسيطة إلى الأهرامات والتلال وغيرها من المضلعات المعقدة ، وتتوفر في أحجام مختلفة أما صغيرة لتناسب ما بين الدعامات أو كبيرة لتغطية كامل طول المبنى ، وهناك نوع آخر من الفتحات لجلب الضوء من خلال السقف كالنوافذ العلوية الجانبية "Clerestory" ، والمراقب "Monitor" ، وأسنان المنشار "Saw–tooth" ، وتختلف عن بعضها في كيف خلال فصول السنة المختلفة وفي الأوقات المختلفة من اليوم.

شكل (17) استخدام المناور في إضاءة العرض المتحفي
The Neues Museum – Berlin – Germany

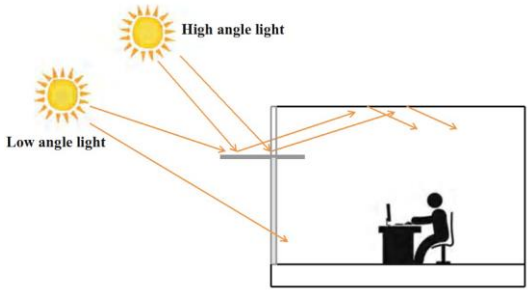


شكل (19) الأنواع المختلفة لتقنيات الإضاءة العلوية "السقفية"



شكل (18) الأشكال والنماذج التقليدية لفتحات السقف "المناور "

6.1.3. الأرفف الضوئية "Light Shelves":



شكل (20) توضيح لمفهوم الأرفف الضوئية

تساعد هذه الأرفف على تغلغل الضوء إلى الفراغات الداخلية العميقة عن طريق ارتداد الضوء المرئي نحو السقف ، الأمر الذي يعكسه بشكل أعمق في داخل الغرفة ، حيث يتم وضع رف الضوء فوق مستوي العين لتقسيم النافذة إلى منطقة رؤية في الأسفل ومنطقة دخول ضوء النهار في الأعلى. وعادة ما يكون رف الضوء عنصراً أفقياً يتم وضعه خارجياً أو داخلياً أو وضعاً فيما بينهما ويمكن أن يكون جزءاً لا يتجزأ من المبنى أو يتم تثبيته على المبنى ، ومن الممكن أن يكون مصنوعاً من الألومنيوم أو القماش ، وعادة ما تكون قوة الهيكل ، سهولة الصيانة ، التكلفة وجماليات المبنى هي الاعتبارات الرئيسية لاختيار هذه المواد.

6.1.4. إعادة توجيه ضوء النهار "Daylight Redirecting":

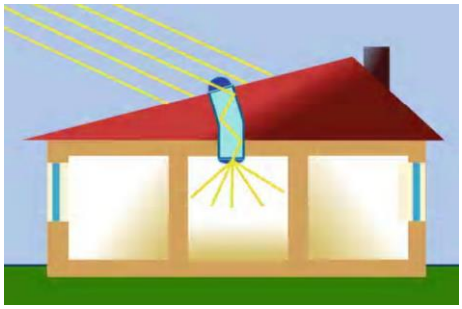
على الرغم من أن الأرفف الضوئية هي طريقة فعاله لعكس وارتداد الضوء ، إلا أنها عناصر معمارية إضافية تتطلب الصيانة وتشغل مساحة من الفراغ ، وتتوافر الآن مواد تزجيج أو أفلام قادرة على عكس الضوء نحو السقف وبالتالي ربما تحل محل الأرفف الضوئية وتكون أكثر فعالية من حيث التكلفة. فعلى سبيل المثال "تستخدم أفلام التكرار الدقيق "Micro-replication" لإعادة توجيه الضوء الذي كان من شأنه أن يصل إلى الأرض في البداية على بعد بضعة أقدام من النافذة ليصل إلى السقف على عمق 40 قدم من النافذة ، حيث تشير تقنية التكرار الدقيق إلى هياكل مجهريه قادرة على إعادة توجيه 80% من الضوء إلى السقف.

وتؤثر قيم الانعكاس لأسطح الغرفة بشكل ملحوظ على أداء ضوء النهار ويحب أن تبقى عالية قدر الإمكان ، فمن المفضل الحفاظ على قيم انعكاس أكثر من 80% للسقف ، 50% للجدران ، 20% للأرضيات" (Jadhav, 2016).

6.1.5. أنابيب الضوء "Light Pipes":

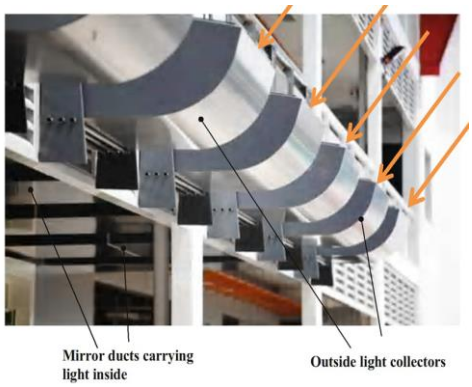
عبارة عن هياكل مادية تعمل كموجهات للموجات الضوئية لضوء النهار وتستخدم لنقل الضوء وتوزيعه لأغراض الإضاءة ، وغالباً ما يشار إليها باسم أنابيب أشعة الشمس "Sun Pipes" ، فهي تتشابه مع المناور في وظيفتها ولكنها مصممة لإدخال الضوء بشكل أعمق في المبنى حيث لا يمكن للمناور التقليدية والنوافذ أن تصل ، وتتكون أنابيب الضوء من مكونين أساسيين هما:

- قبة تجميع الضوء والتي يتم تركيبها بشكل مشابه للكوة ، ولكنها نصف كرويه لجلب الضوء من زوايا مختلفة.
- أنبوب مجوف طويل متصل في أحد طرفيه بقبة تجميع الضوء والطرف الآخر يحتوي على تجهيزات ضوئية لإدخال الضوء إلى الحيز ، ويتكون هذا الأنبوب من معدن عاكس للضوء.



شكل (21) رسم توضيحي لطريقة عمل الأنابيب الضوئية لجلب الإضاءة إلى الداخل

وهناك شكل آخر من أنابيب الضوء تعرف باسم المجرى الضوئية Duct" ، وتتكون من مجرى عاكس مجوف يستخدم لجلب ضوء النهار بث تثبيت معظم أنابيب أشعة الشمس بشكل رأسي ، إلا أنه يتم تركيب المج مجمعات الضوء الموضوعة بالخارج ، حيث تم تصميم هذه المجاري لالتقاط ضوء النهار من خلال المجمعات الخارجية ومن ثم يتم توجيه الضوء إلى القنوات العاكسة الأفقية المدمجة في السقف المستعار ليخرج الضوء من خلال فتحات السقف أو وحدات الإضاءة في مساحة العمل أدناه ، والميزة الرئيسية للمجرى العاكسة هي أن الضوء الذي تجلبه إلى الفراغ عادة ما يكون خالياً من الوهج.



شكل (22) مجمعات ضوء النهار المثبتة في المجارى الضوئية العاكسة

6.1.6. إضاءة الألياف الضوئية "Fiber-Optic Lighting":

تستخدم إضاءة الألياف الضوئية كابل نقل الضوء الذي يتم تغذيته من مصدر ضوئي في مكان بعيد ، ويتكون نظام الألياف الضوئية من إضاءة (مصدر للضوء) ، وأنابيب الألياف الضوئية ، وربما بعض التجهيزات للاستخدام في طرف الانبعاث. فعندما يضرب الضوء السطح ما بين قلب وكسوة الكبل ، يحدث انعكاس داخلي كلي فيرتد الضوء أو ينعكس على الألياف الموجودة في الداخل ، حيث يتم استخدام نوعين من الألياف أما المكونة من الخيوط ذات القطر الصغير المجمعة معاً أو ذات القلب الصلب. ويكون مصدر الإضاءة أما من مصابيح الهالوجين أو مصابيح الهاليد المعدنية ، وفي الآونة الأخيرة تم تجهيز مصادر الضوء بمصابيح ليد "LED".

شكل (23) استخدام أنظمة الألياف الضوئية في العرض المتحفي

وتوفر أنظمة إضاءة الألياف الضوئية العديد من الفوائد وتزيل العديد من المشاكل التي تواجه أنظمة الإضاءة التقليدية ، "إن الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية التي ينتجها مصدر ضوء معين هي منتجات ثانوية غير مرغوب فيها ، ويمكن أن تقوم أنظمة الألياف الضوئية بتصفية هذه الموجات ، مما يزيل الأثر الضار للأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء. ولا تتطلب إضاءة الألياف الضوئية أي جهد عند التركيب ، وهي آمنة تماماً ، ولا تنبعث منها حرارة ، ولا تحتاج إلى صيانة تقريباً ، وتعد تقنية الإضاءة هذه مفيدة بشكل خاص في إضاءة العرض المتحفي" (Kibert, 2013).

6.1.7. ضوابط الإضاءة "Lighting Controls":

يتم تحديد درجة الراحة البصرية من خلال مستويات الإضاءة لكلاً من ضوء النهار والإضاءة الاصطناعية ، وبصفة عامة يتم تقييم هذين الأسلوبين من الإضاءة بشكل منفصل ، "حيث يتم توفير الإضاءة الاصطناعية لتلك الحالات التي لا يكون هناك ضوء نهار أو أنه غير كافٍ ، وفي المباني الخضراء كثيراً ما يكون هناك تفاعل بين هذين المصدرين من الإضاءة عن طريق السيطرة عليهما وتنظيمهما مما يؤدي إلى الانتقال الناعم بين إضاءة النهار والمساء" (Bauer, 2010) ، ومن ثم فيجب أن يخضعا للرقابة من خلال عناصر التحكم في الإضاءة التي ينبغي أن تشتمل على نظام متكامل يؤدي وظيفتين أساسيتين:

- كشف الإشغال ، من خلال كاشفات الحركة "Motion Detectors" ومن ثم يقوم بتشغيل الأضواء أو إيقافها تلقائياً استجابة لحركة الأجسام وخاصة الأشخاص.
- التحكم في شدة الضوء ، حيث تعمل المخفتات "Dimmers" بفعل أجهزة الاستشعار الضوئي "Photodetectors" على تعلية وتعتيم مصادر الضوء أو تشغيل وإيقاف الأضواء تلقائياً ، لتعويض مستويات الضوء الطبيعي التي توفرها أنظمة الإضاءة النهارية.

"وقد أظهرت الأبحاث أن أنظمة الإضاءة الكهربائية المرتبطة بضوء النهار مثل أنظمة التشغيل والإيقاف التلقائي أو أنظمة التعتيم المستمر ، لديها القدرة على تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية في المباني بنسبة تصل إلى 50%. وهناك نوعان أساسيان من أنظمة التحكم في ضوء النهار هما التعتيم "Dimming" والتبديل "Switching" ، حيث تقوم عناصر التعتيم بتغيير الضوء الناتج على نطاق واسع لتوفير مستويات الضوء المطلوبة ، بينما تعمل عناصر التبديل على إيقاف المصابيح أو تشغيلها حسب الحاجة ، ورغم أن أنظمة التعتيم التي تتطلب مخفتات كهربائية قابلة للتعديل تكون أكثر ثمناً من أنظمة التبديل إلا أنها تحقق نسب توفير أكبر ولا تقوم بعمل تغيرات مفاجئة في خصائص مستوى الإضاءة كما يحدث في أنظمة التبديل ، ولهذا تعتبر أنظمة التعتيم هيا الأنسب لمناطق العرض بينما يمكن استخدام أنظمة التبديل في المناطق ذات مستويات الإضاءة الطبيعية المرتفعة مثل المداخل والكافيتريات والممرات" (Kibert, 2013).

7 – النتائج :

يمثل تصميم المتاحف الجديدة وإعادة تأهيل المتاحف القائمة فرصة كبيرة لتطبيق مبادئ الاستدامة وتحويل المبنى نفسه إلى معرضاً لعرضه ، وتتنوع مصادر الضوء داخل المتحف ما بين ضوء طبيعي يوفر فوائد فسيولوجية ونفسية كبيرة لشاغلي المبنى بالإضافة إلى فوائد توفير الطاقة ، وضوء اصطناعي يعتمد اختيار نوعية مصادرة على عدة عوامل منها كفاءة الإضاءة ، مقياس الأداء اللوني ، ودرجة حرارة اللون. ولتحقيق ما يعرف بالراحة الضوئية نحتاج إلى توفير مستويات كافية من الضوء ذو الجودة العالية لمختلف أنشطة المتحف لتعزيز عملية الاتصال والتمتع من قبل الزائر. ومن جانب آخر فإن عمليات التدهور الضوئي الكيميائية للمواد تتأثر وبشكل واضح بالتكوين الطيفي للإشعاع ، كثافته ، ومدة بقاؤه ، هذا بالإضافة إلى الاستجابة الطيفية النسبية للمواد المستقبلة والتي أمكن تصنيفها إلى أربعة فئات عالية الاستجابة ، متوسطة الاستجابة ، منخفضة الاستجابة ، ومواد غير مستجيبة للضوء.

وبصفة عامة ترتكز استراتيجيات الحد من التدهور الناتج عن الضوء إلى مبادئ بسيطة هي التخلص من الأشعة فوق البنفسجية ، والأشعة تحت الحمراء ، وتقليل فترات التعرض للإشعاع المرئي. وقد كشفت الدراسة عن فاعلية استخدام التزجيج الواقي والأفلام البلاستيكية وأنظمة الحماية المختلفة في الحماية من الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء للضوء الطبيعي ، وأيضاً ما توفره إضاءة الحالة الصلبة كأحد مصادر الضوء الاصطناعي مثل مصابيح ليد "LEDs" من حلول للتخلص من هذه الإشعاعات ، مع إمكانية استخدام باقي مصادر الضوء الاصطناعي ولكن كجزء من أنظمة الألياف الضوئية التي تقوم بتصفية موجات الضوء وإزالة الأثر الإشعاعي الضار فهي آمنة تماماً ولا تنبعث منها حرارة ولا

تحتاج إلى صيانة تقريباً. هذا بالإضافة إلى استخدام وحدات العرض المعتمة متعددة الطبقات وأنظمة كشف الإشغال ومفاتيح الفارق الزمني وأنظمة الإضاءة التفاعلية المختلفة نظراً لفاعليتهم في الحد من التعرض للإشعاع المرئي ولما تحققه هذه الأنظمة من توفير في استهلاك الطاقة.

كما قدمت الدراسة بعض التوصيات والمعالجات التصميمية المقترحة لكفاءة الراحة الضوئية في متاحف الآثار المصرية منها استخدام نوافذ الإضاءة النهارية مثل النوافذ الجانبية والمناور بمختلف أشكالها مع إعادة توجيه ضوء النهار باستخدام الأرفف الضوئية أو أنابيب الضوء أو الأفلام العاكسة للضوء ، هذا بالإضافة إلى الحاجة لبرمجة وأتمتة النظام الضوئي بالمتحف للتحكم في درجة الراحة الضوئية من خلال مستويات الإضاءة لكلاً من ضوء النهار والإضاءة الاصطناعية لتلبية احتياجات الحيزات المختلفة.

8- المراجع:

أحمد أيمن خلوصي ، محمد ماجد خلوصي – الموسوعة المعمارية (المتاحف) – الجزء الأول – دار الكتب 2004م.

د. عبد الحليم نور الدين – متاحف الآثار في مصر والوطن العربي – الطبعة الأولى – الأقصى للطباعة ، القاهرة 2009م.

أ.د. عزت ذكي حامد قادوس – علم الحفائر وفن المتاحف – مطبعة الحضري 2003م.

Bauer, Michael and Mosle, Peter and Schwarz, Michael – Green Building – Guidebook For sustainable Architecture – Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

De Graaf, Tillmann and Dessouky, Mennatalla and Muller, Helmut F.O. – Renewable Energy – Sustainable Lighting of museum buildings – Elsevier Journal Ltd., 2014 – Issue 67.

Hernandz, Christian – The Green Challenge – Incorporating Sustainable Practices and Materials into Collections Care – Proquest LLC., 2015.

International Well Building Institute – The Well Building Standard – Delos Living LLC., 2015 – V1 February, 2016.

Jadhav, Y. Nilesh – Green and Smart Buildings – Advanced Technology Options – Springer Science + Business Media Singapore, 2016.

Karlicek, Robert and Zissis, Georges and others – Hand book of Advanced Lighting Technology – Ezrati, Jean–Jacques – Museum and Exhibition Lighting – Springer International Publishing Switzerland, 2017.

Kibert, Charles J. – Sustainable Construction – Green Building Design and Delivery – Third Edition – John Wiley & Sons, INC, 2013.

Luo, H–W and Chou, C–J and others – Museum Lighting with LEDs – Evaluation Of Lighting damage to Contemporary Photographic materials – The Chartered Institution of Building Services Engineers, 2018.